Administración de operaciones 8e

Procesos y cadenas de valor

Lee Krajewski
Larry Ritzman
Manoj Malhotra





ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

Procesos y cadenas de valor

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

Procesos y cadenas de valor

OCTAVA EDICIÓN

LEE J. KRAJEWSKI
University of Notre Dame

LARRY P. RITZMAN
Professor Emeritus
The Ohio State University
y Boston College

MANOJ K. MALHOTRA
University of South Carolina

TRADUCCIÓN:
María del Pilar Carril Villarreal

REVISIÓN TÉCNICA:
Françoise D. Brailovsky Signoret
Katina García Appendini
Instituto Tecnológico Autónomo de México



México • Argentina • Brasil • Colombia • Costa Rica • Chile • Ecuador
España • Guatemala • Panamá • Perú • Puerto Rico • Uruguay • Venezuela

Datos de catalogación bibliográfica

KRAJEWSKI, LEE; RITZMAN, LARRY; MALHOTRA, MANOJ

Administración de operaciones. Octava edición

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2008

ISBN: 978-970-26-1217-9

Formato: 21 × 27 cm Páginas: 752

ISBN 013187294X

Edición en español
Editor: Luis Miguel Cruz Castillo
e-mail: luis.cruz@pearsoned.com
Editora de desarrollo: Claudia Celia Martínez Amigón
Supervisor de producción: José D. Hernández Garduño

Edición en inglés

AVP/Executive Editor: Mark Pfaltzgraff
Editorial Director: Jeff Shelstad
Senior Project Manager: Alana Bradley
Editorial Assistant: Barbara Witmer
Developmental Editor: Amy Ray
Media Product Development Manager: Nancy Welcher
AVP/Executive Marketing Manager: Debbie Clare
Marketing Assistant: Joanna Sabella
Senior Managing Editor (Production): Cynthia Regan
Production Editor: Melissa Feimer
Permissions Supervisor: Charles Morris
Manufacturing Buyer: Diane Peirano
Design Manager: Christy Mahon
Art Director: Janet Slowik
Interior Design: Amanda Kavanagh
Cover Design: Ray Cruz
Illustrator (Interior): ElectraGraphics, Inc.
Director, Image Resource Center: Melinda Reo
Manager, Rights and Permissions: Zina Arabia
Manager, Visual Research: Beth Brenzel
Image Permission Coordinator: Debbie Latronica
Photo Researcher: Teri Stratford
Manager, Print Production: Christy Mahon
Composition/Full-Service Project Management: BookMasters, Inc.
Printer/Binder: Quebecor

OCTAVA EDICIÓN, 2008

Atlacomulco 500-5o. piso
Col. Industrial Atoto
53519 Naucalpan de Juárez, Estado de México

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031.



ISBN 10: 970-26-1217-9
ISBN 13: 978-970-26-1217-9

Impreso en México. *Printed in Mexico.*
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 11 10 09 08

DEDICADO con amor a nuestras familias.

▪

Judie Krajewski
Gary
Lori y Dan; Aubrey, Madeline y Amelia
Carrie y Jon; Jordanne y Alaina
Selena y Jeff
Virginia y Jerry
Virginia y Larry

▪

Barbara Ritzman
Karen y Matt; Kristin y Alayna
Lisa y Todd; Cody, Cole, Taylor y Clayton
Kathryn y Paul
Mildred y Ray

▪

Maya Malhotra
Vivek, Pooja y Neha
Santosh y Ramesh Malhotra
Indra y Prem Malhotra; Neeti y Deeksha
Sadhana Malhotra
Leela y Mukund Dabholkar
Aruna y Harsha Dabholkar; Aditee
Mangala y Pradeep Gandhi; Priya y Medha

RESUMEN DE CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO

CD-ROM SUPLEMENTOS

PREFACIO

La octava edición de ***Administración de operaciones,*** de Lee Krajewski, Larry Ritzman y el nuevo coautor **Manoj Malhotra** tiene muchos cambios interesantes. A continuación, se presenta una relación de lo más destacado de estos cambios:

¡NOVEDAD! Coautor: Manoj Malhotra, profesor de la Cátedra Jeff B. Bates de la University of South Carolina, fue invitado a incorporarse a este equipo debido a su capacidad como docente, su historial activo como investigador y su éxito como consultor de empresas importantes, como John Deere, Metso Corporation, Phelps Dodge, Sonoco, Milliken y Verizon, entre otras. Sobre todo, Manoj es un maestro experimentado que sabe enseñar la administración de operaciones de manera creativa y eficaz tanto a nivel de licenciatura como al de maestría. Ha impartido clases con base en este libro desde su primera edición y aporta nueva energía e ideas a ésta. Son ejemplos de sus muchas aportaciones a la calidad pedagógica de la octava edición:

- *Capítulo 7, "Administración de restricciones".* Eleva la discusión de la teoría de restricciones, explica cómo identificar y administrar los cuellos de botella e introduce las técnicas de selección de la mezcla de productos con base en los cuellos de botella, que complementa con el ejercicio de aprendizaje por experiencia de Min-Yo Garment Company.
- *Capítulo 9, "Sistemas racionalizados",* que se pasó más adelante en el libro, incluye nuevos ejemplos de prácticas administrativas y relaciona los sistemas racionalizados con los métodos *poka-yoke,* el concepto de las Cinco S y los mapas de la corriente de valor. Estos cambios contribuyen a dar cohesión a los primeros nueve capítulos del libro y refuerzan la idea de ver a las operaciones desde la perspectiva de la administración de procesos para luego hacer la transición a la administración de las cadenas de valor en la parte 3 del libro.
- El *capítulo 11, "Localización",* es más contemporáneo y orientado a la práctica, con un fuerte enfoque en la toma de decisiones. Manoj presenta innovaciones como los métodos de localización basados en GIS usando Microsoft MapPoint 2004. Hay videos sobre su uso, junto con nuevos ejemplos de localización y un nuevo caso al final del capítulo.

¡NOVEDAD! Caso Starwood e integración de video: Otro cambio notable en la octava edición es la introducción de seis casos de Retos administrativos basados en Starwood Hotels and Resorts. El material de estos casos, así como el video que los acompaña, ilustran los temas del capítulo a través de los ojos de Starwood, una de las empresas hoteleras más grandes del mundo.

¡NOVEDAD! Diseño y organización: El libro se ha simplificado y ahora tiene menos páginas y un diseño atractivo que confiere a la octava edición "aspecto y estilo" mucho muy diferentes. El material gráfico se rehizo por completo para que correspondiera al diseño, y tiene muchas características innovadoras. Sin embargo, las innovaciones van mucho más allá de la estética. Se han realizado cambios sustantivos en casi todos los capítulos y suplementos, sin perder los temas principales que han sido muy apreciados en las ediciones pasadas. Por ejemplo:

- **Tema:** Los dos temas dominantes, los procesos y las cadenas de valor, se han reforzado aún más y ahora se presta considerable atención a los proveedores de servicios. Una figura central al margen de la introducción de cada capítulo explica la idea, lo mismo que las exposiciones breves sobre cómo se relaciona el capítulo tanto con los procesos y las cadenas de valor como con las distintas áreas funcionales de la empresa.
- **Parte 1:** El capítulo 1, "Las operaciones como arma competitiva", presenta a China e India como dos países notables que afectan la competencia global y presenta el primero de los seis Retos administrativos. El capítulo 2, "Estrategia de operaciones", tiene una nueva sección sobre los ganadores y calificadores de pedidos, además de un nuevo ejemplo de cómo se cierra la brecha en el desempeño con la estrategia de operaciones, y reduce la discusión tangencial. El capítulo 3, "Administración de proyectos", se presenta antes en el libro para mostrar cómo pueden usarse los proyectos para implementar la estrategia de operaciones. Refuerza la discu-

PREFACIO

sión sobre los riesgos de los proyectos, agrega una nueva sección sobre la cadena crítica y contiene material nuevo sobre el concepto de valor ganado en los proyectos.

- **Parte 2:** El capítulo 4, "Estrategia de procesos", identifica los problemas estratégicos en el diseño de los procesos y describe cómo incrustar la estrategia en los procesos. El capítulo 5, "Análisis de procesos" simplifica las presentaciones de diagramas de flujo y describe muchos indicadores que pueden medirse. El capítulo 6, "Desempeño y calidad de los procesos", describe las mediciones de la calidad en la industria del cuidado de la salud y amplía la discusión del proceso Six Sigma. El capítulo 7, "Administración de restricciones", da vida a los principios de la teoría de restricciones y muestra cómo pueden explotarse para administrar los cuellos de botella. El capítulo 8, "Distribución de los procesos", muestra escenarios de actividades en oficinas y simplifica la discusión del balance de línea. El capítulo 9, "Sistemas esbeltos", relaciona los métodos *poka-yoke,* los conceptos Cinco S y los mapas de la corriente de valor con los métodos racionalizados.
- **Parte 3:** El capítulo 10, "Estrategia de cadena de suministro", se beneficia de las revisiones medulares guiadas por observaciones de profesores, incluido el nuevo material detallado sobre personalización masiva, cadenas de suministro racionalizadas, *outsourcing* y el traslado de procesos a otros países (*offshoring*) y las cadenas virtuales de suministro. El capítulo 11, "Localización", tiene nuevas adiciones atractivas, como MS MapPoint 2004 basado en GIS para tomar decisiones de localización en el mundo real, que se complementan con tres nuevos videos educativos y archivos de *Solver* que facilitan los cálculos. El capítulo 12, "Administración de inventarios", presenta el concepto de costo de capital relacionado con el mantenimiento de inventarios. El capítulo 13, "Pronósticos", describe el proceso de pronosticación y muestra el nuevo software POM para Windows con análisis de regresión. El capítulo 14, "Planificación de ventas y operaciones", cuyo título se modificó para adaptarlo a la terminología que se utiliza actualmente en la práctica (en lugar de "planificación agregada"), muestra cómo equilibrar la oferta con la demanda y simplifica las estrategias de planificación puras. El capítulo 15, "Planificación de recursos", presenta los sistemas Tambor-Amortiguador-Cuerda y racionalizados como parte de la cartera de sistemas de planificación de recursos. El capítulo 16, "Programación", tiene dos nuevas prácticas administrativas que abordan los métodos actuales de programación en las organizaciones manufactureras y de servicio.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a varias personas de Pearson que integran el equipo editorial. Quienes participaron más estrechamente en el proyecto y por quienes sentimos la más grande admiración incluyen a Mark Pfaltzgraff, editor ejecutivo de Ciencias de la decisión, que supervisó todo el proyecto; Barbara Witmer, asistente editorial que hizo circular el manuscrito por todo el proceso de producción; Nancy Welcher, gerente de desarrollo de medios del proyecto, que dirigió la producción de los materiales en CD-ROM para el estudiante y los recursos para la administración del curso y el sitio Web complementario; Melissa Feimer, editora de producción, que nos ciñó al calendario previsto y contribuyó a dar al libro la forma del producto final; Janet Slowik, directora de arte, que produjo un nuevo diseño atractivo del libro; Amy Ray, que combinó de manera transparente las voces de tres autores en una; Debbie Clare, gerente ejecutiva de marketing, y Joanna Sabella, asistente de marketing, cuyas ideas perspicaces sobre marketing y esfuerzos promocionales hicieron que todo el trabajo del equipo editorial valiera la pena; y Richard Bretan y Avik Karmaker por contribuir a hacer posibles nuestros suplementos en medios mientras coordinaban estos proyectos a lo largo del proceso de producción. Annie Puciloski aportó su pericia para revisar la precisión del texto, el Manual de soluciones y el Test Item File. También deseamos manifestar nuestro más profundo agradecimiento a Pedro Reyes, de Baylor University, por escribir el Manual de recursos del instructor; Lew Hofmann, de College of New Jersey, por la creación de los materiales Lecture PowerPoint; Geoff Willis, de Central Oklahoma University, que revisó el Test Item File y la Online Study Guide; y Don Knox, de Wayland Baptist University, por revisar el Manual de soluciones del instructor. Este año tenemos varias adiciones a nuestra videoteca y por ello expresamos nuestro agradecimiento especial a Beverly Amer y sus colegas en AspenLeaf

PREFACIO

Productions, Inc., así como a nuestros amigos de Starwood Hotels, Inc., que nos permitieron incluir a sus excelentes hoteles en nuestros nuevos segmentos. En especial, agradecemos las creaciones de Howard Weiss, que actualizó los modelos activos y los materiales del software OM Explorer, y que puso a la disposición el programa POM para Windows en una nueva versión.

Agradecemos también a nuestros colegas de otras universidades cuya guía fue sumamente útil para todas nuestras revisiones. En esta edición, figuran los siguientes:

Robert H. Burgess	Georgia Institute of Technology
Karen C. Eboch	Bowling Green State University
Mike Godfrey	University of Wisconsin, Oshkosh
Marilyn Helms	Dalton State University
Vijay R. Kannan	Utah State University
Dennis Krumwiede	Idaho State University
Ajay K. Mishra	State University of New York
Ken Paetsch	Cleveland State University
Taeho Park	San Jose State University
Madeleine E. Pullman	Colorado State University
Gyula Vastag	Indiana University–Purdue University, Indianapolis
Rohit Verma	University of Utah

Nuestras felicitaciones para Larry Meile, de Boston College, por sus aportaciones a los ejercicios de Internet. Los casos de Brooke Saladin siguen facilitando a los instructores la tarea de impartir más interés y emoción a sus clases.

Queremos agradecer a Deb Coch, University of Notre Dame, por sus investigaciones en Internet y asistencia en la preparación de archivos. Asimismo, Jerry Wei, Dave Hartvigsen, Hojung Shin, Sarv Devaraj y Jennifer Ryan, todos de Notre Dame, fueron una fuente constante de aliento e ideas para mejorar. Patrick Philipoom, University of South Carolina, hizo aportaciones estelares a muchas de las ideas y videos relacionados con GIS en el capítulo 11 y también escribió un caso relacionado al final del capítulo. Daniel Steele, también de la University of South Carolina, actuó como excelente caja de resonancia y amigo a lo largo de todo este proceso. Los estudiantes de doctorado Alan Mackelprang y Jeff Smith, de la University of South Carolina, también proporcionaron elementos valiosos.

Por último, agradecemos a nuestras familias por no abandonarnos durante los días de reclusión aunque hiciera el tiempo ideal para ir de pesca o jugar golf. Nuestras esposas, Judie, Barb y Maya, nos dieron el amor, estabilidad, aliento y sentido del humor que necesitábamos cuando estábamos transformando la séptima en la octava edición.

1

PARTE 1

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir las decisiones que toman los gerentes de operaciones.
2. Identificar las tendencias y desafíos presentes en la administración de operaciones.
3. Describir las operaciones en términos de insumos, procesos, productos, flujos de información, proveedores y clientes.
4. Describir las operaciones como una función vinculada a las finanzas, contabilidad, marketing, sistemas de información administrativa y recursos humanos.
5. Explicar cómo pueden utilizarse las operaciones como arma competitiva.



Debido a que Internet facilita el envío de documentos de modo instantáneo, FedEx ahora se centra más en el servicio terrestre.

CAPÍTULO 1

Las operaciones como arma competitiva

FEDEX

FedEx es una empresa de servicio de mensajería cuyos ingresos ascienden a 26,000 millones de dólares al año, que depende de la rapidez y fiabilidad para prosperar. FedEx entrega 5.5 millones de paquetes todos los días. Debido a que 60% de los paquetes se envían por avión, FedEx puede cobrar precios especiales por el servicio. Desde hace 25 años, las compañías eligen tradicionalmente a FedEx por su puntualidad en la entrega y superioridad tecnológica para dar seguimiento a los paquetes. Sin embargo, Internet ha cambiado las cosas drásticamente. Muchas empresas usan procesos complejos basados en la Web diseñados para eliminar gran parte de la impredecibilidad de sus operaciones mediante la comunicación directa con clientes y proveedores. El correo electrónico entrega documentos al instante y las compañías transportistas de bajo costo, las líneas aéreas de descuento e incluso los transatlánticos, pueden dar seguimiento a los envíos a través de Internet.

Estos adelantos tecnológicos han afectado la demanda de los servicios tradicionales de FedEx. El potencial de crecimiento reside ahora en el transporte terrestre, dominado en la actualidad por United Parcel Service. Dicha demanda ha aumentado gracias a compañías como Amazon.com, que depende de los servicios de transporte terrestre para entregar paquetes directamente a la puerta del cliente, y a las vastas redes de suministro de empresa a empresa, creadas por sistemas de compras basados en la Web. Para seguir siendo una empresa competitiva, FedEx creó dos nuevos servicios: FedEx Ground y FedEx Home Delivery. FedEx Ground se centra en las entregas de empresa a empresa a través de una compañía transportista adquirida recientemente. FedEx Home Delivery se especializa en entregas a domicilios particulares. Las metas son ahora las operaciones de bajo costo y la entrega confiable, lo que representa un cambio en relación con las anteriores metas de operación que hacían hincapié en la rapidez de entrega.



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante (en inglés) o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

Además, FedEx invirtió 100 millones de dólares en procesos que coordinarán el flujo de los productos. Por ejemplo, Cisco exige que sus proveedores entreguen los componentes dentro de un periodo muy breve para ensamblar el producto final. FedEx confía en su habilidad para administrar las operaciones que le permitan competir con éxito en un ambiente dinámico.

Fuente: Brian O'Reilly, "They've Got Mail!", *Fortune* (7 de febrero de 2000), pp. 101-112; www.fedex.com, 2004.

proceso
Cualquier actividad o grupo de actividades en las que se transforman uno o más insumos para obtener uno o más productos para los clientes.

Una de las metas principales de este libro es ayudarle a comprender cómo utilizar las operaciones como un arma competitiva. La administración de operaciones se ocupa de los procesos (esas actividades fundamentales que las organizaciones utilizan para realizar el trabajo y alcanzar sus metas) para producir los bienes y servicios que la gente usa todos los días. Un **proceso** es cualquier actividad o grupo de actividades en las que se transforman uno o más insumos para obtener uno o más productos para los clientes. Por ejemplo, FedEx tiene que recibir paquetes de los clientes, clasificarlos según el destino de cada uno, llevarlos a él mediante transporte aéreo o terrestre, dar seguimiento a los avances y facturar al cliente por el servicio. Los cambios en FedEx constituyen un ejemplo del diseño de los procesos para tener operaciones competitivas. Los importantes nuevos procesos creados para los servicios de entrega por vía terrestre implicaron la coordinación de los procesos de todas las áreas de la empresa. Mediante la selección de las técnicas y estrategias apropiadas, los gerentes pueden diseñar procesos que den a sus compañías una ventaja competitiva.

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES EN LA ORGANIZACIÓN

administración de operaciones
El diseño, dirección y control sistemáticos de los procesos que transforman los insumos en servicios y productos para los clientes internos y externos.

El término **administración de operaciones** se refiere al diseño, dirección y control sistemáticos de los procesos que transforman los insumos en servicios y productos para los clientes internos y externos. En términos generales, la administración de operaciones está presente en todos los departamentos de una empresa porque en ellos se llevan a cabo muchos procesos. Si usted aspira a dirigir un departamento o un proceso específico en su disciplina, o si sólo desea entender cómo el proceso del cual usted forma parte encaja en la estructura general de la empresa, es necesario que comprenda los principios de la administración de operaciones. Desde esta perspectiva, todos nosotros tenemos que ver, al menos en una pequeña parte, con la administración de operaciones.

En la figura 1.1 se muestran las operaciones como una de varias funciones dentro de una organización. Cada función se especializa porque tiene sus propias áreas de conocimientos y habilidades, responsabilidades principales, procesos y dominios de decisión. Sin importar cómo se tracen las líneas, los departamentos y funciones siempre están vinculados mediante los procesos. En consecuencia, los gerentes de operaciones necesitan establecer y mantener relaciones sólidas tanto dentro como fuera de la organización. Con mucha frecuencia, los gerentes permiten que se erijan barreras entre áreas funcionales y departamentos. Los trabajos o tareas se mueven en secuencia de marketing a ingeniería y de ahí a operaciones, y a menudo dan como resultado deficiencias o lentitud en la toma de decisiones porque cada departamento basa éstas en su propia perspectiva limitada y no en las metas generales de la organización.

La coordinación entre funciones es esencial para una administración eficaz. Considere cómo otras áreas funcionales interaccionan con las operaciones: quizá la conexión más fuerte sea la que existe con la función de marketing, que determina la necesidad de nuevos servicios y productos, la demanda de los productos y servicios existentes y se centra en la satisfacción del cliente. Los gerentes de operaciones deben reunir los recursos humanos y de capital que satisfagan las necesidades de los clientes. Las áreas de marketing y ventas hacen promesas de entrega que dependen de las capacidades actuales de las operaciones. Los pronósticos de demanda que hace el área de marketing guían al gerente de operaciones en la planificación de las tasas y capacidades de producción.

El gerente de operaciones también necesita información acerca de las funciones de contabilidad y finanzas para entender el desempeño actual. Las mediciones financieras ayudan al gerente de operaciones a evaluar los costos de mano de obra, los beneficios de las nuevas tecnologías en el largo plazo y las mejoras en la calidad. La función de contabilidad ayuda al gerente de operaciones a supervisar los signos vitales del sistema de producción con métodos de seguimiento múltiples. Finanzas influye en las decisiones relativas a invertir los activos de capital de la compañía en nueva tecnología, rediseño de la distribución física, ampliación de la capacidad e incluso los niveles del inventario. Del mismo modo, el área de recursos humanos interacciona con las operaciones para contratar y capacitar a los trabajadores y colabora en los cambios relacionados con los

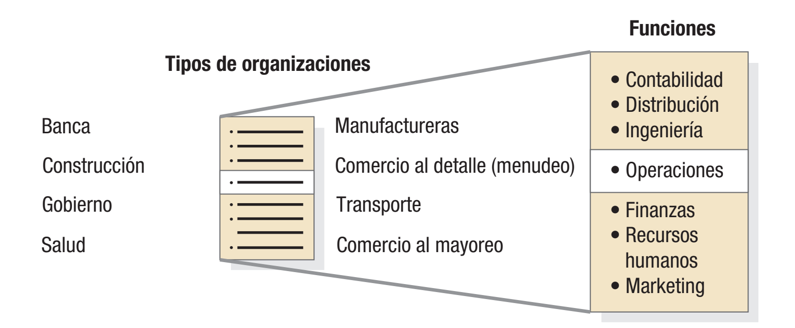


FIGURA 1.1

La administración de operaciones como función

nuevos procesos y diseño de los puestos. Ingeniería también puede tener un gran impacto en las operaciones. Para diseñar nuevos servicios o productos, ingeniería necesita considerar las compensaciones técnicas y asegurarse de que los diseños no impliquen especificaciones costosas o rebasen las capacidades.

Los líderes empresariales y gubernamentales reconocen cada vez más la importancia de incluir a toda la organización en la toma de decisiones estratégicas. Las operaciones desempeñan una función importante respecto de cómo hacer frente a la competencia global. La competencia extranjera y la explosión de nuevas tecnologías aumentan la conciencia de que una empresa compite no sólo con la oferta de nuevos servicios y productos, marketing creativo y destreza en las finanzas, sino además con sus competencias únicas en operaciones y la administración responsable y eficaz de los procesos centrales. La organización que ofrece servicios y productos superiores a precios bajos es un competidor formidable.

> UNA VISIÓN DE LOS PROCESOS <

Tal vez se pregunte por qué hemos elegido a los procesos como la unidad de análisis en lugar de los departamentos o incluso la empresa misma. La razón es que una visión de los procesos ofrece una imagen mucho más precisa de cómo la empresa funciona en realidad. Típicamente, los departamentos tienen su propio conjunto de objetivos, un conjunto de recursos con capacidades para lograr dichos objetivos, y gerentes y empleados responsables por su desempeño. Algunos procesos, como el de facturación, pueden estar contenidos por completo dentro de un departamento, como contabilidad.

Sin embargo, el concepto de proceso puede ser mucho más amplio. Un proceso puede tener su propio conjunto de objetivos, abarcar un flujo de trabajo que traspase las fronteras departamentales y requerir recursos de varios departamentos. Por ejemplo, el desarrollo de productos puede implicar la coordinación entre Ingeniería, Marketing y Operaciones. A lo largo de este texto verá ejemplos de compañías que descubrieron que pueden utilizar sus procesos para conseguir ventaja competitiva. Observará que la clave del éxito en muchas organizaciones es la comprensión cabal de cómo funcionan sus procesos.

CÓMO FUNCIONAN LOS PROCESOS

Una organización es sólo tan eficaz como sus procesos. Veamos lo que ocurre en una agencia de publicidad. Suponga que un cliente se comunica con su ejecutivo de cuenta (EC) respecto a la necesidad de producir un anuncio memorable para el próximo partido de futbol del Súper Tazón. El EC recopila la información pertinente y la transmite a un equipo de diseño creativo y un equipo de planificación de medios que preparan una maquetación del anuncio y un plan de utilización de medios que resulte aceptable para el cliente. El EC también proporciona información al departamento de contabilidad, que prepara una cuenta para efectos de facturación. El equipo de diseño creativo turna el diseño de la maquetación a un equipo de producción, que prepara la maquetación final para su publicación y la entrega a los medios seleccionados de acuerdo con el programa establecido por el equipo de medios y aprobado por el cliente. Los equipos de diseño, medios y producción envían las horas por facturar y las partidas de gastos al departamento de Contabilidad, que prepara una factura para la aprobación del EC y después la envía al cliente para el pago correspondiente.

La figura 1.2 muestra una visión de los procesos de la agencia de publicidad en dos niveles. El recuadro más grande representa la agencia de publicidad como un proceso agregado. Vista en este nivel, la agencia de publicidad necesita insumos de fuentes externas y genera productos, que son los anuncios para clientes externos. Los insumos de fuentes externas son los recursos que se utilizan en los procesos de la agencia de publicidad e incluyen empleados, gerentes, dinero, equipo, instalaciones, materiales, servicios, terreno y energía. El producto es el anuncio para el Súper



Un equipo de diseño analiza una campaña publicitaria para un nuevo producto en una agencia de publicidad. El equipo de diseño debe coordinarse con el de planificación de medios para producir un anuncio que satisfaga al cliente.

Tazón que pidió el cliente. Sin embargo, dentro del recuadro más grande se aprecia una visión de los procesos más detallada: el proceso de comunicación con el cliente incluye al EC y sus interacciones con el cliente. En el proceso de diseño y planificación del anuncio se crea éste y se planea su presentación durante el juego del Súper Tazón y las exhibiciones subsiguientes. En el proceso de producción se contrata a los actores y actrices, se prepara el plató de producción y la utilería, se coordinan los horarios de todos los participantes en la producción del anuncio, se graba el contenido, se prepara un video y se entrega el anuncio puntualmente a los medios. Las flechas en el diagrama indican los flujos de información y trabajo entre los procesos, junto con los comentarios sobre la ejecución.

Cada proceso tiene insumos y productos. Al nivel del proceso, se ve que los insumos podrían ser los recursos de las fuentes externas mencionados con anterioridad, o bien pueden ser muy específicos de las tareas del proceso, recibidos de otros procesos. Por ejemplo, el proceso de diseño y planificación del anuncio recibe información detallada acerca de los requerimientos del anuncio del proceso de comunicación con el cliente, y el proceso de producción recibe la maquetación del anuncio y el plan de medios del proceso de diseño y planificación del anuncio. Las horas por facturar del anuncio son un producto del proceso de producción y la factura completa para el cliente es un producto del proceso de contabilidad. Entre el proceso primario y los de apoyo, el producto de un proceso es el insumo de otro. De ahí se deduce que las fallas de ejecución en un proceso pueden influir de manera considerable en los otros procesos.

PROCESOS ANIDADOS

Nuestra visión de los procesos de la agencia de publicidad es útil; sin embargo, incluso en este nivel de detalle, es posible que no se tenga una idea lo suficientemente clara de lo que ocurre. Si quitamos algunas capas más, podemos considerar el proceso de diseño y planificación del anuncio. La figura 1.3 muestra que intervienen dos procesos diferentes. El proceso de diseño creativo inicia con una solicitud de trabajo del EC, después de la cual el director de diseño creativo integra el equipo. La solicitud de trabajo incluye el objetivo del anuncio, el mensaje general, los hechos que sustentan lo que se dice y el público al que estará dirigido. El equipo de diseño crea varios diseños, obtiene los comentarios del EC, prepara el diseño definitivo, obtiene los comentarios del cliente mediante el proceso de comunicación con éste y revisa el diseño según sea necesario. Dicho proceso cuenta con su propio conjunto de insumos y productos, distinto del proceso de planificación de medios. La solicitud de trabajo para el proceso de planificación de medios, que incluye la información contenida en la orden de trabajo del director de diseño creativo, además de información relacionada con el tamaño del anuncio y la duración esperada de la campaña, va al director de medios, quien selecciona un planificador de medios. El planificador de medios prepara varios

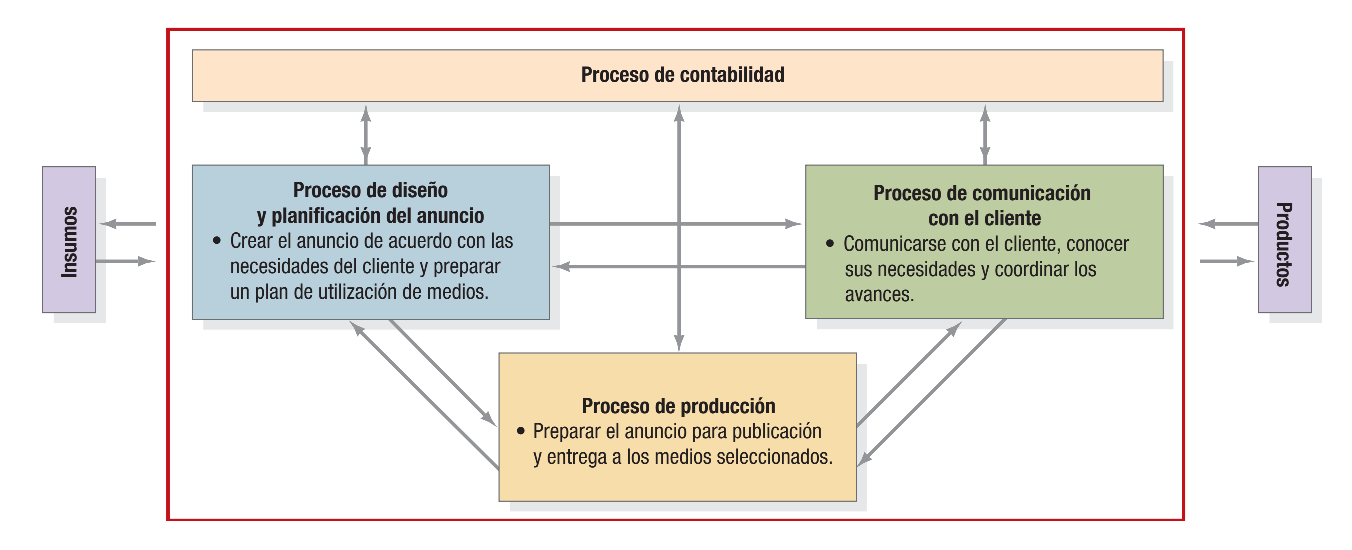


FIGURA 1.2 | Visión de los procesos de una agencia de publicidad

Proceso de diseño y planificación del anuncio

Proceso de diseño creativo
- Recibir la solicitud de trabajo
- Integrar el equipo
- Preparar varios diseños
- Recibir los comentarios del EC
- Preparar el concepto definitivo
- Revisar el concepto de acuerdo con los comentarios del cliente

Proceso de planificación de medios
- Recibir la solicitud de trabajo
- Preparar varios planes de medios
- Recibir los comentarios del EC
- Preparar el plan definitivo
- Revisar el plan de acuerdo con los comentarios del cliente

FIGURA 1.3
Proceso anidados

planes, obtiene los comentarios del EC, prepara el plan definitivo, obtiene los comentarios del cliente y revisa el plan según sea necesario.

Todo proceso, como el proceso de diseño y planificación del anuncio, puede dividirse en subprocesos, los que a su vez pueden subdividirse aún más. Por ejemplo, "preparar el diseño del anuncio" es un proceso dentro del proceso de diseño creativo. Este concepto de un proceso dentro de otro se llama **proceso anidado**. Puede resultar útil separar una parte de un proceso de otra por varias razones. Tal vez una persona o un departamento no puedan hacer todas las partes del proceso, o quizá diferentes partes del proceso requieran diversas habilidades. Las habilidades necesarias para los diseños publicitarios creativos son muy distintas de las que se necesitan para planificar con eficacia la utilización de medios; una parte del proceso proporciona servicios que requieren una comunicación considerable con el cliente, lo que a su vez exige habilidades y actitudes especiales de los empleados, mientras que otra parte permanece oculta al cliente. Por último, algunas partes del proceso pueden haberse diseñado para un trabajo rutinario en tanto que otras partes tal vez requieran un trabajo personalizado. El concepto de proceso anidado refuerza la necesidad de comprender la interrelación de las actividades dentro de una empresa y el carácter de los insumos y productos de cada proceso.

proceso anidado
Es el concepto de un proceso dentro de otro.

RELACIONES CON CLIENTES Y PROVEEDORES

Los procesos proporcionan productos, a menudo servicios (que pueden adoptar la forma de información), a los clientes. Cada proceso y cada persona en una organización tienen clientes. Algunos son **clientes externos**, que pueden ser usuarios finales o intermediarios (como fabricantes, instituciones financieras o comerciantes minoristas) que compran los servicios o productos terminados de la empresa. El cliente de la agencia de publicidad es un cliente externo. Otros son **clientes internos**, que pueden ser empleados o procesos que dependen de los insumos de otros empleados o procesos para realizar su trabajo. El proceso de producción es un cliente interno del proceso de diseño y planificación del anuncio.

Asimismo, cada proceso y cada persona en una organización dependen de proveedores. Los **proveedores externos** pueden ser otras empresas o particulares que proporcionan los recursos, servicios, productos y materiales para cubrir las necesidades de corto y largo plazos de la empresa. La agencia de publicidad necesita préstamos bancarios, artículos de oficina, equipo de cómputo, software y nuevo personal para apoyar sus procesos con el tiempo. Los procesos también tienen **proveedores internos**, que pueden ser empleados o procesos que suministran información importante o materiales. En la agencia de publicidad, el proceso de diseño y planificación del anuncio suministra un diseño del anuncio y un plan de medios al proceso de producción.

clientes externos
Los clientes que son o un usuario final o un intermediario (por ejemplo, fabricantes, instituciones financieras o comerciantes minoristas) que compran los servicios o productos terminados de la empresa.

clientes internos
Uno o más empleados o procesos que dependen de los insumos de otros empleados o procesos para realizar su trabajo.

proveedores externos
Empresas o particulares que proporcionan los recursos, servicios, productos y materiales para cubrir las necesidades de corto y largo plazos de la empresa.

proveedores internos
Empleados o procesos que suministran información importante o materiales.

PROCESOS DE SERVICIO Y MANUFACTURA

Los dos tipos principales de procesos son los servicios y las manufacturas. Los procesos de servicio predominan en el mundo empresarial. Las estadísticas de los principales países industrializados del mundo indican que más de 80% de los empleos se generan en la industria de los servicios. Los procesos de servicio ocupan un lugar prominente en nuestro análisis de la administración de operaciones. Los procesos de manufactura también son importantes; sin ellos, los productos que disfrutamos como parte de nuestra vida cotidiana no existirían. Además, las manufacturas dan origen a las oportunidades de servicios.

Diferencias ¿Cómo se distinguen los procesos de servicio de los manufactureros? La respuesta radica en la parte medular del diseño de los procesos competitivos. Las dos diferencias fundamentales en los procesos de servicio y de manufactura son: (1) la naturaleza de sus productos, y (2) el grado de contacto con el cliente.

Los procesos manufactureros convierten los materiales en bienes que tienen una forma física que llamamos productos. Por ejemplo, una línea de ensamblaje produce un automóvil deporti-

vo 350 Z y un sastre produce un traje para los anaqueles de una tienda de ropa de lujo. Los procesos de transformación cambian los materiales en una o más de las siguientes dimensiones:

1. Propiedades físicas.
2. Forma.
3. Dimensión fija.
4. Acabado de la superficie.
5. Unión de partes y materiales.

Los productos de los procesos manufactureros pueden producirse, almacenarse y transportarse en previsión de la demanda futura.

Si un proceso no cambia las propiedades de los materiales por lo menos en una de esas cinco dimensiones, se considera un proceso de servicio (o no manufacturero). Los procesos de servicio tienden a producir productos intangibles y perecederos. Por ejemplo, el producto del proceso de préstamos para automóvil de un banco sería un préstamo para la adquisición de un automóvil y uno de los productos del proceso de surtido de pedidos del Servicio Postal estadounidense es la entrega de una carta. Típicamente, los productos de los procesos de servicio no pueden mantenerse en un inventario de bienes terminados para aislar el proceso de la demanda errática de los clientes.

Otra diferencia fundamental entre los procesos de servicio y los de manufactura es el grado de contacto con el cliente. Los procesos de servicio tienden a tener un alto grado de contacto con el cliente. Los clientes pueden desempeñar una función activa en el propio proceso, como en el caso de las compras en un supermercado o estar en contacto estrecho con el proveedor del servicio para comunicar necesidades específicas, como en el caso de una clínica médica. Los procesos manufactureros propenden a tener menos contacto con el cliente. Por ejemplo, las lavadoras se producen, en última instancia, para cumplir los pronósticos de los comerciantes minoristas. El proceso requiere poca información de los consumidores finales (usted y yo), salvo, de manera indirecta, por medio de encuestas de mercado y grupos de enfoque.

La distinción entre procesos de servicio y de manufactura con base en el contacto con el cliente no es perfecta. Algunos procesos de servicio tienen subprocesos anidados con poco contacto con el cliente. Las oficinas centrales de un proveedor de seguros, donde se diseñan y producen los productos y las pólizas de seguro, tienen poco contacto con los clientes. En contraste, las sucursales, donde los agentes de seguros tratan directamente con el público, tienen mucho contacto con el cliente. Algunos procesos manufactureros requieren un alto grado de contacto con el cliente, como en el caso de la producción de partes únicas de motores para un modelo específico de automóvil. Lo importante es que al diseñar los procesos los gerentes deben reconocer el grado de contacto requerido con el cliente.

Semejanzas Al nivel de la empresa, los proveedores de servicios no sólo ofrecen servicios y los fabricantes no sólo ofrecen productos. Los clientes de un restaurante esperan buen servicio y buena comida. Un cliente que compra una computadora nueva espera un buen producto, así como bueno servicios de garantía, mantenimiento, sustitución y financieros.

Además, a pesar de que los procesos de servicio no utilizan inventarios de bienes terminados, sí inventarían sus insumos. Por ejemplo, los hospitales necesitan mantener inventarios de suministros médicos y materiales necesarios para las operaciones cotidianas. Por otro lado, algunos procesos de manufactura no inventarían sus productos porque son demasiado costosos. Tal sería el caso de los productos personalizados de bajo volumen (por ejemplo, los trajes hechos a la medida) o los productos que duran muy poco en los anaqueles (por ejemplo, los diarios).

Cuando se estudia lo que se hace al nivel del proceso, resulta mucho más sencillo entender si el *proceso* proporciona un servicio o fabrica un producto. Sin embargo, esta claridad se pierde cuando toda la compañía se clasifica ya sea como fabricante o como proveedor de servicios, porque a menudo ejecuta ambos tipos de procesos. Por ejemplo, el proceso de cocinar la carne en McDonald's es un proceso de manufactura porque cambia las propiedades físicas del material (dimensión 1), lo mismo que el proceso de poner la carne en el pan (dimensión 5). Sin embargo, la mayoría de los demás procesos visibles o invisibles para los clientes de McDonald's son los procesos de servicio. Se puede debatir si debe llamarse a toda la organización de McDonald's un proveedor de servicios o un fabricante, mientras que las clasificaciones al nivel del proceso son mucho menos ambiguas.

> AGREGAR VALOR: LA CADENA DE VALOR <

cadena de valor

Serie interrelacionada de procesos que produce un servicio o producto que satisface a los clientes.

La mayoría de los servicios o productos se obtienen por medio de una serie de actividades empresariales interrelacionadas. La visión de los procesos de una empresa es útil para entender cómo se obtienen los servicios o productos y por qué es importante la coordinación entre funciones, pero no esclarece cuáles son las ventajas estratégicas de los procesos. La percepción faltante sobre la estrategia es que los procesos deben agregar valor para los clientes. El trabajo acumulado de los procesos de una empresa es una **cadena de valor,** que es la serie interrelacionada de procesos que

produce un servicio o bien que satisface a los clientes. Cada actividad en un proceso debe agregar valor a las actividades precedentes; deben eliminarse el desperdicio y los costos innecesarios.

El concepto de cadenas de valor refuerza el vínculo entre procesos y desempeño, que incluye los procesos internos de la empresa, así como sus clientes y proveedores externos. Una necesidad registrada por un cliente interno o externo inicia una cadena de valor. Estas necesidades pueden ser órdenes de trabajo propiamente dichas (como la solicitud de trabajo del EC de la agencia de publicidad al director del proceso de diseño creativo) o pronósticos de necesidades futuras. Muchas de estas necesidades pueden estar presentes en cualquier proceso en cualquier momento, lo que presenta un desafío administrativo complicado. El concepto de cadenas de valor también centra la atención en los tipos de procesos de la cadena de valor. Por ejemplo, un **proceso central** es una cadena de actividades que entrega valor a los clientes externos. Los administradores de estos procesos y sus empleados interaccionan con los clientes externos y entablan relaciones con ellos, desarrollan nuevos productos y servicios, interaccionan con proveedores externos y producen el servicio o producto para el cliente externo. Los ejemplos incluyen el manejo de las reservaciones de un hotel, el diseño de un nuevo automóvil para un fabricante de autos o las compras basadas en la Web para un comerciante minorista de Internet, como Amazon.com. Un **proceso de apoyo** proporciona recursos vitales e insumos a los procesos centrales y es esencial para la administración de la empresa. Los ejemplos incluyen los presupuestos, el reclutamiento de personal y la programación de la producción.

proceso central
Cadena de actividades que entrega valor a los clientes externos.

proceso de apoyo
Proceso que proporciona recursos vitales e insumos a los procesos centrales y, por lo tanto, es esencial para la administración de la empresa.

PROCESOS CENTRALES

La figura 1.4 muestra las relaciones entre los procesos centrales y de apoyo en una empresa y los clientes y proveedores externos de dicha empresa. En este texto nos centraremos en cuatro procesos centrales:

1. *Proceso de relaciones con los clientes,* en ocasiones llamado *administración de relaciones con los clientes.* Los empleados que participan en el **proceso de relaciones con los clientes** identifican, atraen y entablan relaciones con los clientes externos, y facilitan la colocación de pedidos de los clientes. Las funciones tradicionales, como marketing y ventas, pueden ser parte de este proceso. El proceso de comunicación con el cliente de la agencia de publicidad es un ejemplo.
2. *Proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos.* Los empleados que participan en el **proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos** diseñan y desarrollan nuevos servicios o productos. Éstos se desarrollan de acuerdo con las especificaciones de clientes externos o se conciben a partir de información recibida del mercado en general. Un ejemplo de esto es el proceso de diseño y planificación del anuncio en la agencia de publicidad.
3. *Proceso de surtido de pedidos.* El **proceso de surtido de pedidos** incluye las actividades requeridas para producir y entregar el servicio o producto al cliente externo. El proceso de producción de la agencia de publicidad es un ejemplo de este proceso.
4. *Proceso de relaciones con los proveedores.* En el **proceso de relaciones con los proveedores** los trabajadores seleccionan a los proveedores de los servicios, materiales e información y facilitan el flujo oportuno y eficiente de estos artículos hacia la empresa. Trabajar eficazmente con los proveedores agrega considerable valor a los servicios o productos de la empresa. Por ejemplo, negociar precios justos, programar entregas a tiempo y adquirir ideas y conocimientos de los proveedores críticos son sólo algunas maneras de crear valor.

proceso de relaciones con los clientes
Proceso que identifica, atrae y entabla relaciones con los clientes externos, y facilita la colocación de pedidos de los clientes; en ocasiones llamado *administración de relaciones con los clientes.*

proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos
Es el proceso en el que se diseñan y desarrollan nuevos servicios o productos de acuerdo con las especificaciones de clientes externos o a partir de información recibida del mercado en general mediante el proceso de relaciones con los clientes.

proceso de surtido de pedidos
Proceso que incluye las actividades requeridas para producir y entregar el servicio o producto al cliente externo.

proceso de relaciones con los proveedores
Es el proceso en el que se selecciona a los proveedores de los servicios, materiales e información y se facilita el flujo oportuno y eficiente de estos artículos hacia la empresa.

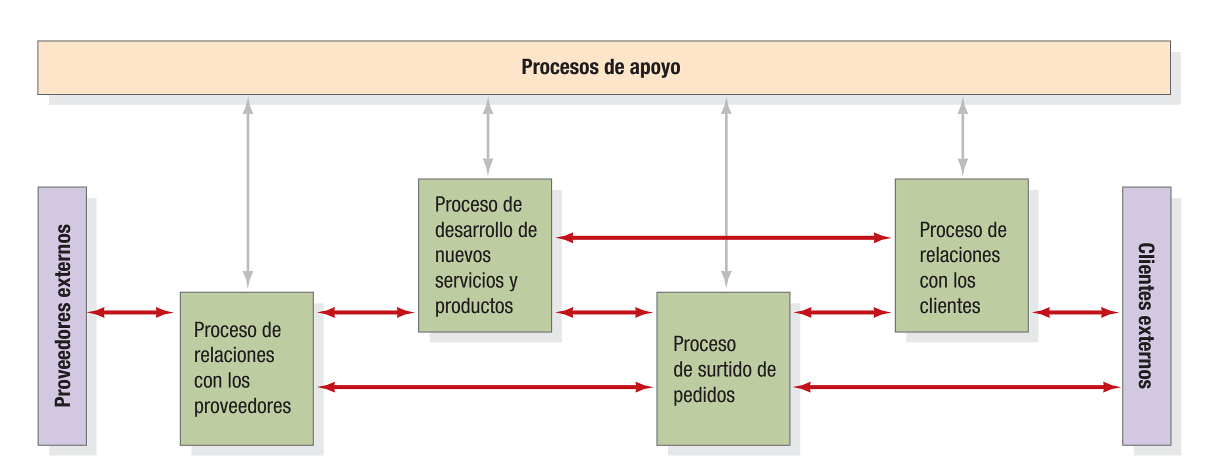


FIGURA 1.4 | Eslabones de la cadena de valor que muestran los flujos de trabajo e información

TABLA 1.1 Ejemplos de procesos de apoyo

Adquisición de capital	La provisión de recursos financieros para que la organización realice su trabajo y ejecute su estrategia.
Elaboración de presupuestos	El proceso de decidir cómo se distribuirán los fondos a lo largo de un periodo.
Reclutamiento y contratación de personal	La adquisición de las personas que realizarán el trabajo de la organización.
Evaluación y remuneración	La evaluación y pago de las personas por el trabajo y valor que aportan a la compañía.
Apoyo y desarrollo de recursos humanos	La preparación del personal para su puesto actual y para cubrir necesidades de habilidades y conocimientos futuras.
Cumplimiento de disposiciones reglamentarias	Los procesos que garantizan que la compañía cumpla con todas las leyes y obligaciones legales.
Sistemas de información	El movimiento y procesamiento de datos e información para agilizar las operaciones y decisiones de la empresa.
Administración empresarial y funcional	Los sistemas y actividades que proporcionan rumbo estratégico y aseguran la ejecución eficaz del trabajo de la empresa

Fuente: Peter S. Pande, Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh, *The Six Sigma Way* (Nueva York: McGraw-Hill, 2000), p. 161.

El concepto de los procesos centrales se estudia más a fondo en el capítulo 2, "Estrategia de operaciones". Desde luego, cada uno de los procesos centrales tiene procesos anidados. En capítulos posteriores se explorarán algunos de ellos.

PROCESOS DE APOYO

Las empresas también tienen muchos procesos de apoyo. Se usó el de contabilidad (mejor dicho, la preparación de facturas) como ejemplo en la agencia de publicidad. Los procesos de apoyo proporcionan recursos clave, capacidades u otros insumos que permiten que lo procesos centrales funcionen. En la tabla 1.1 se presentan algunos ejemplos de procesos de apoyo.

AGREGAR VALOR CON LOS PROCESOS

El examen de los procesos desde la perspectiva del valor que agregan forma parte importante de la agenda de un gerente exitoso. En la Práctica administrativa 1.1 se muestra cómo la innovación en la cadena de valor puede representar una gran diferencia en una industria de poco crecimiento.

> LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES COMO UN CONJUNTO DE DECISIONES <

Las operaciones constituyen una excelente vía para progresar profesionalmente y llegar a posiciones de alta dirección en muchas organizaciones. La razón es que los gerentes de operaciones son responsables de decisiones fundamentales que inciden en el éxito de la organización. En las empresas manufactureras, el jefe de las operaciones generalmente ocupa el puesto de COO (*chief operations officer,* director ejecutivo de operaciones) o vicepresidente de manufacturas (o producción u operaciones). El puesto correspondiente en una organización de servicio podría ser COO o vicepresidente (o director) de operaciones. Los subordinados del director de operaciones son los gerentes de los departamentos, como Atención a clientes, Producción y control de inventarios, Control de calidad y Procesamiento de cheques.

La toma de decisiones es un aspecto esencial de toda la actividad administrativa, incluida la administración de operaciones. Aunque los detalles específicos de cada situación varían, la toma de decisiones, por lo general, comprende los mismos tres pasos básicos: (1) reconocer y definir con claridad el problema; (2) recopilar la información necesaria para analizar las posibles alternativas; (3) seleccionar la alternativa más atractiva, y (4) implementar la alternativa seleccionada. Algunas decisiones son estratégicas, mientras que otras son tácticas. Las decisiones estratégicas son menos estructuradas y tienen consecuencias a largo plazo; las decisiones tácticas son más estructuradas, rutinarias y repetitivas y tienen consecuencias a corto plazo. Sin embargo, lo que distingue a los gerentes de operaciones son los tipos de decisiones que toman o en las cuales participan.

En este texto se cubren las principales decisiones que los gerentes de operaciones toman en la práctica. A nivel estratégico, los gerentes de operaciones intervienen en el desarrollo de nuevas capacidades y en el mantenimiento de las capacidades existentes para servir mejor a los clientes

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 1.1 LA INNOVACIÓN EN LAS OPERACIONES ES UN ARMA COMPETITIVA EN PROGRESSIVE INSURANCE

Progressive Insurance, una compañía de seguros para automóvil fundada en 1937, tuvo aproximadamente 1300 millones de dólares en ventas en 1991. En 2004, tuvo más de 11,000 millones de dólares en ventas. ¿Cómo logró este asombroso crecimiento en una industria de más de 100 años que tradicionalmente crece a la par que el producto interno bruto, el cual, por cierto, no registró ese mismo índice de crecimiento? Podría pensarse que Progressive se diversificó en nuevos negocios o que buscó ventas en los mercados globales. El crecimiento en las ventas podría haberse generado mediante campañas dinámicas de marketing o precios bajos que redujeran los márgenes de utilidad. Ninguna de estas tácticas es el secreto. De hecho, los márgenes de utilidad son muy saludables. Una medición clave del desempeño financiero en la industria de los seguros es la "razón combinada", que es igual a gastos más pagos de reclamaciones, dividido entre primas. Una aseguradora de autos típica tiene una razón de 102%, que implica una pérdida de 2% en las actividades de aseguramiento que debe cubrirse con el ingreso por inversión. Sin embargo, Progressive tiene una razón de 96%.

¿Cómo lo logró? La respuesta es simple, pero la implementación fue compleja: ofrecer precios bajos y mejor servicio mediante la innovación en las operaciones. Es decir, cambiar drásticamente la forma en que se realiza el trabajo para ofrecer más valor a los clientes. *Innovación en las operaciones* significa diseñar procesos completamente nuevos para hacer el trabajo. Por ejemplo, Progressive reinventó el procesamiento de las reclamaciones para reducir los costos y aumentar la satisfacción y retención de los clientes. El sitio Web de Progressive dedicado a los agentes, ForAgentsOnly.com (FAO), permite a éstos obtener acceso rápido, fácil y seguro a los pagos; ver información sobre pólizas, facturación y reclamaciones; y enviar cotizaciones e información directamente a los clientes a través del correo electrónico. Se alienta a los clientes a conectarse a Internet para realizar tareas de rutina, como cambios de domicilio o consultas sencillas de facturación. Además, una cadena de valor llamada Immediate Response Claims Handling (Manejo de reclamaciones con respuesta inmediata) permite ahora a los reclamantes comunicarse telefónicamente con un representante de Progressive las 24 horas del día. El representante envía de inmediato a un ajustador a inspeccionar el vehículo dañado. El ajustador llega al sitio del accidente del vehículo en una camioneta de reclamaciones, examina el vehículo, prepara un estimado del daño ahí mismo y expide un cheque al instante, si es posible (un cambio en el proceso de surtido de pedidos). Ahora se necesitan sólo 9 horas para completar el ciclo, en comparación con los 7-10 días antes de los cambios.



Mediante innovaciones operativas que agregan valor a sus servicios, Progressive Insurance ha logrado un crecimiento asombroso en una industria de bajo crecimiento. Por ejemplo, de conformidad con el programa Manejo de reclamaciones con respuesta inmediata, que ha establecido la compañía, se envía de inmediato a un ajustador al lugar donde ocurrió un accidente a examinar el vehículo y procesar la reclamación.

Las innovaciones operativas en los procesos de la cadena de valor *relaciones con el cliente-surtido de pedidos* para el procesamiento de reclamaciones produjeron varios beneficios. En primer lugar, los reclamantes recibieron servicio más rápido con menos molestias, lo que contribuyó a retenerlos como clientes. Segundo, el ciclo más breve redujo los costos de modo considerable. Los costos de almacenar un vehículo dañado y proporcionar un coche alquilado a menudo pueden borrar de un plumazo las utilidades esperadas de una póliza a seis meses. Este costo se vuelve significativo cuando se toma en cuenta que la compañía procesa más de 10,000 reclamaciones al día. Tercero, el nuevo diseño de la cadena de valor requiere menos personal para manejar la reclamación, lo que reduce los costos de operación. Por último, las innovaciones operativas mejoraron la capacidad de Progressive para detectar fraudes porque permiten llegar con rapidez al lugar del accidente y contribuyeron a reducir las liquidaciones porque los reclamantes suelen aceptar menos dinero si el pago se realiza de inmediato y sin molestias. Progressive Insurance encontró la manera de diferenciarse de los demás en una industria de bajo crecimiento sin poner en riesgo la rentabilidad y logró esa hazaña con innovación en las operaciones.

Fuente: Michael Hammer, "Deep Change: How Operational Innovation Can Transform Your Company," *Harvard Business Review* (abril de 2004), pp. 85–93; http://pressroom.progressive.com, 2005.

externos de la empresa. Los gerentes de operaciones diseñan nuevos procesos que tienen implicaciones estratégicas, y participan muy activamente en el desarrollo y organización de cadenas de valor que relacionan a los clientes y proveedores externos con los procesos internos de la empresa. A menudo, los gerentes de operaciones son responsables de mediciones clave del desempeño, como costo y calidad. Estas decisiones tienen un impacto estratégico porque afectan los procesos que la empresa usa para adquirir ventaja competitiva.

Sin embargo, las grandes decisiones estratégicas no conducen a ninguna parte si las decisiones tácticas que las sustentan son equivocadas. Los gerentes de operaciones también participan en las decisiones tácticas, incluido el mejoramiento de los procesos y la medición del desempeño, administrar y planificar proyectos, generar planes de producción y elección de personal, administrar inventarios y programar recursos. A lo largo de este texto encontrará numerosos ejemplos de estas decisiones y las implicaciones de tomarlas. También aprenderá sobre las herramientas para la toma de decisiones que los gerentes en funciones usan para reconocer y definir el problema y después elegir la mejor solución.

HERRAMIENTAS PARA LA TOMA DE DECISIONES

El CD-ROM del estudiante que acompaña al libro (en inglés) contiene un conjunto único de herramientas de decisión llamado OM Explorer. Este paquete contiene 41 rutinas computarizadas basadas en Excel para solucionar problemas que suelen presentarse en la práctica. La figura 1.5 muestra el menú desplegable y cómo obtener acceso a los *solvers* (auxiliares para resolver problemas). OM Explorer también tiene 63 tutores que ofrecen asesoramiento para todas las difíciles técnicas analíticas en el texto, a los cuales puede obtenerse acceso desde el menú desplegable.

El CD-ROM del estudiante también contiene POMS para Windows, que es un conjunto amplio de herramientas útiles para la toma de decisiones que completa el arsenal para resolver problemas de operaciones, muchos Modelos activos (hojas de cálculo diseñadas para ayudarle a aprender más sobre técnicas para la toma de decisiones importantes) y un paquete de simulación basado en hoja de cálculo llamado SimQuick, y Extend, una potente herramienta de simulación.

APOYO A LAS METAS DE LA EMPRESA

Las decisiones de los gerentes de operaciones deben reflejar la estrategia corporativa. Los planes, políticas y medidas deben vincularse con los de otras áreas funcionales para apoyar las metas y objetivos de la empresa. Estos vínculos se facilitan si se adopta un punto de vista de los procesos de la empresa. Ya sea que aspire a ser gerente de operaciones o bien, si sólo desea usar los principios de la administración de operaciones para ser un gerente más eficaz, recuerde que la buena administración del personal, capital, información y materiales es crucial para el éxito de cualquier proceso y cualquier cadena de valor.

Al estudiar la administración de operaciones, tenga presentes dos principios:

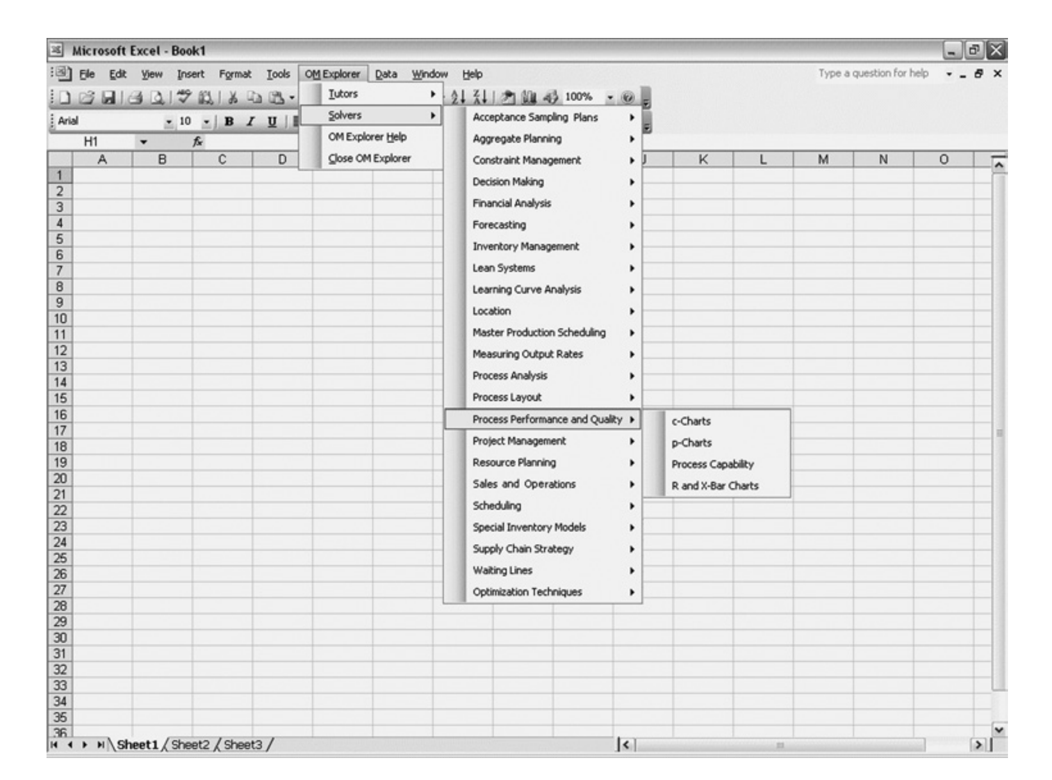
1. Cada parte de una organización, y no sólo la función de operaciones, debe diseñar y operar procesos que forman parte de una cadena de valor y solucionar problemas de calidad, tecnología y personal.
2. Cada parte de una organización tiene identidad propia; sin embargo, está conectada con las operaciones.

> TENDENCIAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES <

Actualmente varias tendencias están teniendo un gran impacto en la administración de operaciones: el mejoramiento de la productividad; la competencia global; el veloz cambio tecnológico; y las cuestiones éticas, ambientales y de diversidad de la fuerza de trabajo. En esta sección se estudiarán estas tendencias y los desafíos que plantean a los gerentes de operaciones.

FIGURA 1.5

Menú de OM Explorer



MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

La productividad es una medición básica del desempeño de las economías, industrias, empresas y procesos. La **productividad** es el valor de los productos (bienes y servicios), dividido entre los valores de los recursos (salarios, costo de equipo y similares) que se han usado como insumos:

productividad

Es el valor de los productos (bienes y servicios), dividido entre los valores de los recursos (salarios, costo de equipo, etcétera) que se han usado como insumos.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Productos}}{\text{Insumos}}$$

Resulta interesante, e incluso sorprendente, comparar el mejoramiento de la productividad en los sectores manufacturero y de servicios. En Estados Unidos, el empleo en el sector de servicios ha crecido con rapidez, superando al sector manufacturero, pero las ganancias en productividad del sector de servicios han sido muy inferiores. Si el crecimiento de la productividad en el sector de servicios se estanca, ocurre lo mismo con el nivel general de vida, sin importar en qué parte del mundo viva uno. Otros grandes países industrializados, como Japón y Alemania, experimentaron el mismo problema. Sin embargo, han aparecido señales de mejoría. El gran incremento en la inversión transnacional puede estimular las ganancias de productividad porque expone a las empresas a una mayor competencia. La inversión creciente en tecnología informática por parte de los proveedores de servicios también aumentará la productividad.

Medición de la productividad Como gerente, ¿cómo medir la productividad de los procesos? Existen muchas mediciones. Por ejemplo, el valor de los productos puede medirse en función de lo que el cliente paga o simplemente con base en el número de unidades producidas o de clientes atendidos. El valor de los insumos puede juzgarse por su costo o simplemente por el número de horas trabajadas.

Normalmente, los gerentes escogen varias mediciones razonables y observan las tendencias para detectar las áreas que es necesario mejorar. Por ejemplo, el gerente de una compañía de seguros puede medir la productividad de la oficina con base en el número de pólizas procesadas por empleado cada semana. El gerente de una empresa vendedora de alfombras puede medir la productividad de los instaladores en términos del número de metros cuadrados de alfombra instalada por hora. Ambas mediciones reflejan la *productividad de la mano de obra,* que es un índice de la producción por persona u hora trabajada. Pueden usarse mediciones parecidas para determinar la *productividad de las máquinas,* en las que el denominador es el número de máquinas. También es posible contabilizar varios insumos simultáneamente. La *productividad multifactorial* es un índice de la producción correspondiente a más de uno de los recursos que se utilizan en la producción; por ejemplo, el valor de la producción dividido entre la suma de los costos de mano de obra, materiales y gastos generales. A continuación se presenta un ejemplo.

Cálculos de productividad — EJEMPLO 1.1

Calcule la productividad en las siguientes operaciones:

a. Tres empleados procesan 600 pólizas de seguros en una semana. Trabajan 8 horas diarias, 5 días a la semana.

b. Un equipo de trabajadores fabrica 400 unidades de un producto, el cual se valora de acuerdo con su costo estándar de $10 cada (antes de sumar otros gastos y la utilidad). El departamento de contabilidad informa que, para este trabajo, los costos reales son de $400 por mano de obra, $1,000 por materiales y $300 por gastos generales.

SOLUCIÓN

a.

$$\text{Productividad de la mano de obra} = \frac{\text{Pólizas procesadas}}{\text{Horas por empleado}}$$

$$= \frac{\text{600 pólizas}}{\text{(3 empleados)(40 horas/empleado)}} = \text{5 pólizas/hora}$$

b.

$$\text{Productividad multifactorial} = \frac{\text{Cantidad a costo estándar}}{\text{Costo mano de obra} + \text{Costo materiales} + \text{Gastos generales}}$$

$$= \frac{\text{(400 unidades)(\$10/unidad)}}{\$400 + \$1{,}000 + \$300} = \frac{\$4{,}000}{\$1{,}700} = 2.35$$

Punto de decisión Estas mediciones deben comprarse con los niveles de desempeño en periodos anteriores y con las metas futuras. Si no están a la altura de las expectativas, el proceso debe investigarse para detectar oportunidades para mejorar.



Entre 2000 y 2003 se inauguraron 60,000 nuevas fábricas de compañías extranjeras en China. Los costos de mano de obra son bajos en ese país y los trabajadores chinos son educados y disciplinados.

La función de la administración La forma en que se administran los procesos desempeña una función clave en el mejoramiento de la productividad. Los gerentes deben examinar la productividad desde el nivel de la cadena de valor porque lo que importa es el desempeño colectivo de los procesos individuales. El desafío consiste en aumentar el valor de la producción en relación con el costo de los insumos. Si los procesos pueden generar más productos o productos de mejor calidad con la misma cantidad de insumos, la productividad se incrementa. Si pueden mantener el mismo nivel de producción y reducir el uso de recursos, la productividad también se incrementa.

COMPETENCIA GLOBAL

Las empresas aceptan el hecho de que, para prosperar, deben visualizar en términos globales a sus clientes, proveedores, localización de sus instalaciones y competidores. La mayoría de los productos actuales son una combinación de materiales y servicios provenientes de todo el mundo. Una camisa informal Gap se cose en Honduras con tela cortada en Estados Unidos. Un espectador saborea una barra de chocolate Crunch de Nestlé (suiza) mientras ve una película de Columbia Pictures (japonesa) en una sala de cine Cineplex (canadiense). Cinco acontecimientos dieron origen a la necesidad de contar con estrategias globales sólidas: (1) mejores tecnologías de transporte y comunicaciones; (2) regulación más flexible de las instituciones financieras; (3) mayor demanda de bienes y servicios importados; (4) menores cuotas de importación y otras barreras al comercio internacional, y (5) ventajas en costos comparativos.

Mejores tecnologías de transporte e información Las mejoras en la tecnología informática y el transporte derribaron las barreras del tiempo y el espacio entre los países. El transporte aéreo puede llevar bienes con rapidez de Kansas City a Nueva York o incluso de Osaka, Japón a Kansas City. La tecnología de las telecomunicaciones (voz y datos), que incluye el correo electrónico, fax, Internet y acuerdos complejos de teléfonos gratis, permite que las instalaciones atiendan zonas de mercado mayores y que las empresas centralicen algunas operaciones y brinden apoyo a las sucursales situadas cerca de los clientes. También permite a los gerentes de todo el mundo comunicarse demoraron rapidez, lo que incrementa las oportunidades de cooperación y coordinación.

Regulación más flexible de las instituciones financieras En la década de 1980, las regulaciones bancarias en Estados Unidos eliminaron los límites máximos de las tasas de interés, lo que permitió a los bancos ofrecer tasas de interés más elevadas y así atraer a más inversionistas extranjeros. Al mismo tiempo, los bancos de otros países eliminaron las barreras de entrada. Como resultado, los sistemas financieros del mundo se volvieron más abiertos, lo que facilitó a las empresas situarse donde el capital, los suministros y los recursos son más baratos.

Mayor demanda de bienes y servicios importados A medida que las barreras políticas al comercio internacional se derrumban, la penetración de mercado de las principales economías aumenta. Los bienes y servicios importados equivalen ahora a aproximadamente 13% de la producción total en Estados Unidos y 14% en Japón, lo que representa un aumento considerable con respecto a décadas anteriores. Las empresas han descubierto que pueden aumentar su penetración de mercado si ubican sus instalaciones de producción en otros países porque esto les da presencia local que reduce la aversión de los clientes a comprar importaciones. Por ejemplo, Elásticos Selectos, una empresa de productos elásticos con sede en la ciudad de México, construyó una planta en Estados Unidos con el propósito principal de conseguir clientes que demandan una etiqueta que diga “made in the USA” (“hecho en Estados Unidos”).

Menores cuotas de importación y otras barreras al comercio internacional Producir bienes o servicios en el lugar donde viven los clientes evita aranceles y otras barreras al comercio diseñadas para restringir las importaciones. Los bloques de comercio regionales, como la Unión Europea (UE) y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), también facilitan el comercio entre países, lo mismo que el Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT), un acuerdo de comercio mundial para reducir los aranceles aduanales. En Estados Unidos la Ley de Relaciones Comerciales entre Estados Unidos y China de 2000 contribuyó a restablecer las relaciones comerciales normales con China. Los mercados japonés y chino están mucho más abiertos a los participantes extranjeros que en el pasado, lo que ha creado una explosión de oportunidades para establecer sociedades que eran impensables hace apenas una década. Por último, la Organización Mundial de Comercio (OMC) facilita el libre comercio. Creada en 1995 después de arduas negociaciones para establecer nuevas reglas de comercio entre 123 naciones, la OMC tiene facultades para examinar las controversias comerciales y emitir fallos de acatamiento obligatorio. Las metas de la OMC son el libre comercio, los mercados abiertos y el flujo irrestricto de capitales.

Ventajas en costos comparativos Los salarios por habilidades comparables pueden variar radicalmente en el mundo. China e India se han convertido últimamente en proveedores de mano de

obra calificada, pero de bajo costo.[1] En China, por ejemplo, un gerente de proyecto con siete años de experiencia cuesta menos de una tercera parte de lo que cuesta un gerente de proyecto con experiencia similar en Estados Unidos. Las empresas manufactureras y de servicios pueden ahorrar entre 30 y 50% en costos de mano de obra si ubican sus instalaciones en estos países. A finales de la década de 1990, las compañías producían en China para evitar los altísimos aranceles, introducirse en ese enorme mercado o conseguir mano de obra barata para producir bienes de baja tecnología a pesar de las dudas acerca de la calidad de los trabajadores y los sistemas de carreteras y ferrocarriles mal construidos. Sin embargo, en la actualidad, las nuevas fábricas de China, como las que se localizan en la zona industrial de Pudong en Shanghai, producen bienes complejos de la mejor calidad y alto valor. La fuerza de trabajo de China no sólo es vasta y barata, sino también educada y disciplinada.

Entre 2000 y 2003 se inauguraron 60,000 nuevas fábricas de compañías extranjeras en China. Hasta 55% de los bienes que Estados Unidos importa de China proviene de compañías de propiedad extranjera que tienen operaciones en ese país. Estas compañías incluyen fabricantes de teléfonos, como Nokia y Motorola; compañías de computadoras, como IBM, y casi todas las grandes marcas de calzado y ropa. También operan ahí muchos más fabricantes importantes. Las implicaciones para la competencia son enormes. A las empresas que no tienen operaciones en China les resulta cada vez más difícil competir en precios bajos con las compañías que sí tienen plantas allí. Las primeras buscan otras formas de competir, como la rapidez para llegar al mercado y las corridas de producción pequeñas.

Lo que China es a la industria manufacturera, India lo es a la de servicios. Como ocurre con las empresas manufactureras, el costo de la mano de obra es un factor clave. Un programador en India puede percibir un salario equivalente a la sexta parte de lo que gana un programador en Estados Unidos con habilidades y experiencia similares. Las empresas de software en India se han vuelto muy avanzadas en sus aplicaciones y ofrecen una gran ventaja en costos. La industria de servicios de computación también se ha visto afectada. Para seguir siendo competitivo, Electronic Data Systems aumentó su personal en India casi diez veces en tres años. Las operaciones de trastienda se ven afectadas por la misma razón. Muchas empresas contratan a compañías indias para contabilidad y teneduría de libros, preparación de declaraciones de impuestos y procesamiento de reclamaciones de seguros. Diversas compañías tecnológicas, como Intel y Microsoft, han inaugurado operaciones grandes de investigación y desarrollo (R&D, del inglés *Research and Development*) en India.

Desventajas de la globalización Por supuesto, las operaciones en otros países también tienen desventajas. Es posible que una empresa tenga que renunciar a los derechos exclusivos sobre su tecnología si pone en manos de proveedores extranjeros la fabricación de parte de sus componentes o si los proveedores necesitan la tecnología de la empresa para alcanzar las metas deseadas de calidad y costos. También puede haber riesgos políticos. Cada nación puede ejercer su soberanía sobre la gente y la propiedad dentro de sus fronteras. El caso extremo es la nacionalización, en la cual un gobierno puede asumir el control de los activos de una empresa sin pagarle una compensación. Además, la empresa puede crear resentimiento en los clientes nacionales si en su país se pierden empleos a causa de las operaciones que lleva a cabo en el extranjero.

Los empleados pueden ser menos competentes en otros países, lo que requerirá tiempo adicional de capacitación. Las empresas coreanas mudaron una buena parte de su producción de calzado deportivo a Indonesia y a China, donde se pagan salarios bajos, pero siguen fabricando los zapatos para caminata y los patines de ruedas en línea en Corea del Sur debido a que requieren mayores habilidades. Además, cuando las operaciones de una empresa se encuentran dispersas, el tiempo de respuesta a los clientes puede ser más lento. Las conexiones eficaces entre funciones también pueden ser más difíciles. Se hablará de estos problemas con mayor detalle en el capítulo 10, “Estrategia de cadena de suministro”, porque deben considerarse cuando se toman decisiones sobre *outsourcing*.

La intensa competencia global afecta a las industrias en todas partes. Por ejemplo, los fabricantes estadounidenses han visto disminuir su participación en los mercados nacionales e internacionales de acero, aparatos electrodomésticos y bienes duraderos para el hogar, maquinaria y productos químicos. Ahora que el valor del comercio mundial en servicios asciende a más de 1.5 billones de dólares al año, los servicios bancarios y jurídicos, el procesamiento de datos, las líneas aéreas y la consultoría empiezan a enfrentar muchas de las mismas presiones internacionales. Los bloques de comercio regionales, como la Unión Europea (UE) y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), modifican aún más el panorama competitivo tanto en los servicios como en las manufacturas. Independientemente de la zona del mundo en que uno viva, si se enfrenta la competencia internacional, el desafío radica en producir servicios o productos que compitan en el mercado global y diseñar los procesos para respaldarlos.

[1]Para información adicional sobre temas globales relacionados con India y China, véase Neil King Jr., “A Whole New World”, *Wall Street Journal* (27 de septiembre de 2004); y Bill Powell, “It’s All Made in China Now”, *Fortune* (4 de marzo de 2002), pp. 121-128.



Las compañías más importantes han descubierto que la diversidad de la fuerza de trabajo ofrece un foro único para discutir perspectivas y soluciones.

CAMBIO TECNOLÓGICO ACELERADO

La aceleración del *cambio tecnológico* afecta el diseño de los nuevos servicios y productos y los procesos de una empresa. Muchas oportunidades surgen de los adelantos en la tecnología de computación, como los robots y varias formas de tecnología informática. El comercio electrónico está cambiando radicalmente los procesos de venta y compra. Sólo las empresas estadounidenses gastan miles de millones de dólares todos los años en tecnología informática. Internet constituye una herramienta vital que vincula a las empresas internamente y hacia el exterior con los clientes, socios estratégicos y proveedores cruciales. La vertiginosa rapidez a la se presentan oportunidades tecnológicas ofrece un enorme potencial, pero también plantea muchos desafíos. ¿Cómo se puede usar la nueva tecnología de la manera más favorable? ¿Cómo deben rediseñarse los productos? La introducción de toda tecnología nueva implica riesgos y las actitudes de los empleados dependen de cómo se maneje el cambio. Las decisiones correctas y la administración eficaz de la tecnología pueden darle ventaja competitiva a una empresa.

CUESTIONES ÉTICAS, AMBIENTALES Y DE DIVERSIDAD DE LA FUERZA DE TRABAJO

Las empresas enfrentan más dilemas éticos que nunca, los cuales se intensifican por la creciente presencia global y el cambio tecnológico acelerado. A medida que las compañías establecen nuevas operaciones y atraen más proveedores y clientes en otros países, surgen posibles dilemas éticos cuando se pueden seguir normas diferentes para hacer negocios. Algunos países son más sensibles que otros respecto al entretenimiento de lujo, conflictos de interés, soborno, discriminación contra minorías y mujeres, pobreza, niveles de los salarios mínimos, centros de trabajo inseguros y derechos de los trabajadores. Los gerentes deben decidir si se diseñan y operan procesos que hagan algo más que simplemente cumplir con las normas locales. Además, el cambio tecnológico provoca debates acerca de la protección de los datos y la privacidad del cliente. En un mundo electrónico, las empresas se encuentran geográficamente lejos de sus clientes, por lo que la reputación de confianza puede ser incluso más importante.

En el pasado, muchas personas consideraban los problemas ambientales, como los desechos tóxicos, la contaminación del agua potable, la calidad del aire y el calentamiento global, como asuntos referentes a la calidad de vida; en la actualidad, muchas personas los ven como cuestión de supervivencia. Las naciones industrializadas tienen una responsabilidad particular porque sus poblaciones en conjunto, que representan sólo 25% de la población mundial total, consumen 70% de todos los recursos del Planeta. Tan sólo siete países, entre ellos Estados Unidos y Japón, producen casi la mitad del total de gases invernadero. Estados Unidos y algunas naciones europeas gastan hoy 2% de su producto interno bruto en la protección del medio ambiente. En la Práctica administrativa 1.2 se muestra cómo una compañía creó un próspero negocio de reciclaje con el diseño de una cadena de valor de alta tecnología.

El desafío es claro: las cuestiones éticas, de diversidad de la fuerza de trabajo y ambientales son parte de la responsabilidad de todo gerente. Al diseñar y operar los procesos, los gerentes deben tomar en consideración la integridad, el respeto por el individuo y la satisfacción de los clientes junto con otras mediciones más convencionales del desempeño, como la productividad, calidad, costo y utilidad.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva

Estrategia de operaciones

Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos

Análisis de procesos

Rendimiento y calidad de los procesos

Administración de restricciones

Distribución de los procesos

Sistemas racionalizados

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro

Localización

Administración de inventarios

Pronósticos

Planificación de ventas y operaciones

Planificación de recursos

Programación

FIGURA 1.6

Administración de procesos y cadenas de valor

> CÓMO HACER FRENTE A LOS DESAFÍOS EN LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES <

¿Cómo pueden las empresas superar los desafíos en el presente y en el futuro? Una forma consiste en ver a los desafíos como oportunidades para mejorar los procesos y cadenas de valor existentes o para crear otros nuevos e innovadores. La administración de los procesos y las cadenas de valor va más allá del diseño; requiere la capacidad de garantizar que las metas se cumplirán. Las empresas deben administrar sus procesos y cadenas de valor para maximizar su competitividad en los mercados que atienden. Compartimos esta filosofía de la administración de operaciones, como se ilustra en la figura 1.6. Usamos esta figura al principio de cada capítulo para mostrar cómo el tema del capítulo encaja en nuestra filosofía de la administración de operaciones.

La figura muestra que todas las decisiones eficaces sobre las operaciones se desprenden de una estrategia de operaciones sólida. En consecuencia, nuestro texto consta de tres partes principales: "Uso de las operaciones para competir", "Administración de procesos" y "Administración de cadenas de valor". El flujo de los temas refleja nuestro énfasis en entender primero cómo las operaciones de una empresa pueden contribuir a proporcionar un fundamento sólido para la competitividad antes de abordar las decisiones esenciales de diseño de los procesos que sustentarán las

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 1.2 OPERACIONES DE ALTA TECNOLOGÍA AYUDAN A RECICLAR EQUIPO DE ALTA TECNOLOGÍA

¿Alguna vez se ha preguntado qué sucede con su computadora vieja después de comprar una nueva? Tal vez la haya entregado a la tienda donde compró la nueva o simplemente la tiró a la basura. Veintisiete por ciento de las computadoras retiradas en Estados Unidos acaban en vertederos de basura, en tanto que sólo 13% se reciclan. Las computadoras viejas contienen componentes electrónicos con materiales que pueden reciclarse. Sin embargo, también contienen toxinas que se filtran en el suelo si dichos componentes se dejan sin procesar: plomo y cadmio en las tarjetas de circuitos de la computadora; óxido de plomo y bario en los monitores de computadoras y tubos de rayos catódicos de televisión; mercurio en los conmutadores y pantallas planas, y retardador de incendios en las tarjetas de circuitos impresos y cajas de plástico.

Muchos procesadores de reciclaje se localizan en los países en vías de desarrollo y, normalmente, son de baja tecnología. El material reciclable se recolecta y procesa. Los trabajadores, que por lo general no usan equipo de protección, suelen arrojar las sustancias químicas que se generan durante el procesamiento en ríos y arroyos cercanos. Otros materiales no procesados se dejan a menudo en los vertederos, lo que causa fugas de toxinas. Esta desconsideración por el medio ambiente dio origen a una reacción opuesta en los países desarrollados. En la Unión Europea se aprobó una ley que exige a los fabricantes de componentes electrónicos que recojan y reciclen 75% de los productos que venden en la Unión Europea (UE). En algunos estados de Estados Unidos se prohibió depositar los desechos electrónicos en los vertederos de basura y se está considerando responsabilizar a los fabricantes de componentes electrónicos por el manejo de estos desechos.

La creciente necesidad de ser responsable por el medio ambiente en la industria manufacturera electrónica brindó una oportunidad excepcional para prestar un servicio tanto a los fabricantes como a los países en que operan. Citiraya Industries Ltd, una compañía con sede en Singapur, goza de una participación de 70% del mercado corporativo de componentes electrónicos de desecho. La razón de esta importante participación de mercado es que Citiraya creó una cadena de valor que incluye procesos de alta tecnología y un sistema avanzado de localización que permite a los fabricantes comprobar su cumplimiento de las leyes ambientales.

La cadena de valor de reciclaje de Citiraya comienza con sus centros de recolección en 11 países, entre ellos China, India y el Reino Unido. Estos centros envían la basura electrónica a la planta procesadora principal en Singapur. Trabajadores que usan botas resistentes, guantes y mascarillas de respiración usan cortadores gruesos que rompen los chips de circuitos integrados, los cuales se trasladan a un horno diseñado para derretir plásticos especiales. En otra sección, los trabajadores usan productos químicos para desprender materiales como el oro, cobre y resinas plásticas. Dispositivos de monitorización analizan el aire que expele la planta, así como el agua que se descarga en el sistema de alcantarillado de la ciudad. La planta cuenta con 60 cámaras que permiten a los clientes atestiguar la destrucción de sus productos a través de Internet. La cadena de valor creada por Citiraya recicla 90% de los productos que los fabricantes le envían, mientras que sus competidores recuperan solamente 65%. Es evidente que las operaciones que protegen el ambiente pueden ser un nicho competitivo.

Fuente: Cris Prystay, "Recycling 'E-Waste'", *Wall Street Journal* (23 de septiembre de 2004); www.citiraya.co.uk, 2005.

estrategias. Cada parte comienza con una discusión de la estrategia que respalda las decisiones en esa parte. Una vez que quede claro cómo las empresas diseñan y mejoran los procesos y cómo implementan esos diseños, examinamos el diseño y operación de las cadenas de valor que vinculan los procesos de la empresa, ya sean internos o externos. El rendimiento de las cadenas de valor determina los resultados de la empresa, que incluyen los servicios o bienes que la empresa produce, los resultados financieros y las opiniones y comentarios de los clientes. Estos resultados, que se consideran en el plan estratégico de la empresa, se analizan a lo largo de todo el texto.

PARTE 1: USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

En lo que queda de esta parte continuaremos con la discusión de los procesos y cadenas de valor iniciada en este capítulo con la presentación del panorama general de lo que es una estrategia de operaciones y cómo se relaciona con la estrategia corporativa de la empresa. Presentamos un marco que vincula las características operativas de los procesos en todos los niveles con las estrategias y objetivos de la empresa, definiendo así la forma en que los procesos agregan valor a los servicios o productos. Una *estrategia de operaciones* es el medio por el cual la empresa desarrolla las capacidades para competir con éxito en el mercado. BMW, por ejemplo, toma muy en serio la estrategia de operaciones. El fabricante alemán de automóviles utiliza Internet para permitir a los clientes colocar los pedidos de automóviles personalizados sin destruir la eficiencia de la línea de producción. Los compradores pueden seleccionar entre 350 variaciones de modelos, 500 opciones, 90 colores exteriores y 170 diseños de interiores. Los concesionarios envían el pedido del cliente y reciben una fecha de entrega en 5 segundos; normalmente, la entrega tiene lugar 12 días después. Si el automóvil tiene que enviarse a Estados Unidos, se agregan 12 días más al plazo de entrega. Para realizar esta hazaña, BMW readaptó por completo toda su cadena de valor, desde las ventas hasta los proveedores. Creó un nicho de mercado que es muy difícil que los competidores puedan igualar.[2]

Concluimos esta parte con una exposición de los métodos y herramientas de la administración de proyectos. La administración de proyectos es un método eficaz para implementar la estrategia de operaciones mediante la introducción de nuevos servicios o productos, así como los cambios en los procesos o cadenas de valor de una empresa.

[2]Véase "Web Smart 50", *Business Week* (24 de noviembre de 2003), pp. 82-106, para los ejemplos mencionados en esta sección, así como muchos otros que demuestran el uso de Internet para mejorar los procesos comerciales.

PARTE 2: ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Esta parte se centra en analizar los procesos y cómo pueden mejorarse para alcanzar las metas de la estrategia de operaciones. Al principio, se abordarán los aspectos estratégicos del diseño de los procesos y después se presentará un método sistemático de seis pasos para el análisis de procesos: (1) identificar la oportunidad; (2) definir el alcance; (3) documentar el proceso; (4) evaluar el rendimiento; (5) rediseñar el proceso, y (6) implementar los cambios. Cada capítulo en esta parte se relaciona con algún aspecto de este método. Se explican las herramientas que ayudan a los gerentes a analizar los procesos y se dan a conocer los métodos que las empresas usan para medir el rendimiento de los procesos y la calidad. Estos métodos constituyen el fundamento de programas como Six Sigma y la administración de la calidad total.

Determinar la mejor capacidad del proceso con la administración eficaz de las restricciones, diseñar la distribución apropiada de las actividades del proceso y "racionalizar" los procesos mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor y el mejoramiento de aquellas que sí lo hacen también son decisiones fundamentales en el rediseño de los procesos. Las actividades que intervienen en la administración de los procesos son esenciales para ofrecer ventajas considerables a la empresa. Por ejemplo, HIP Health Plan of New York aplicó reingeniería total a su sistema de procesamiento de reclamaciones para permitir que sus 1.1 millones de socios conocieran las reclamaciones y ordenaran el resurtido de sus medicamentos por Internet. Los médicos pueden usar el sistema para autorizar estudios de tomografía y visitas a especialistas. La administración eficaz de sus procesos contribuye a que HIP Health Plan de Nueva York ahorre 10 millones de dólares al año en el procesamiento de reclamaciones.

PARTE 3: ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

La administración de las cadenas de valor se basa en la administración de procesos y la estrategia de operaciones. La parte 2 se centra en los procesos individuales. Sin embargo, en la parte 3 el polo de atención se centra en las cadenas de valor que se relacionan con los procesos tanto internos como externos de la empresa y las herramientas que mejoran su ejecución. Esta parte comienza con una exposición de las dimensiones estratégicas de los diseños de las cadenas de suministro y cómo las decisiones importantes, como las relativas al *outsourcing* y la colocación del inventario, afectan el desempeño. Los siguientes capítulos se centran en seis actividades clave de planificación que son útiles para la operación eficaz de las cadenas de valor: (1) localización; (2) administración de inventarios; (3) pronósticos; (4) planificación de ventas y operaciones; (5) planificación de recursos, y (6) programación.

Es preciso tener en cuenta que la operación eficaz de una cadena de valor reviste tanta importancia como su diseño. Yellow Transportation, Inc. descubrió esta importancia cuando rediseñó por completo sus procesos agregados de planificación y programación a fin de reducir los costos en la cadena de valor. Todos los días, la empresa, que vende 2600 millones de dólares, recibe 60,000 pedidos por Internet o en sus centros de atención telefónica. El nuevo proceso de planificación determina cuántos conductores necesitará la compañía durante los cuatros turnos en cada una de sus terminales al día siguiente, e incluso quiénes serán dichos conductores. A los conductores que no se van a necesitar se les indica que tomen el día libre, sin goce de sueldo, lo que representa una verdadera hazaña, tomando en consideración que el proceso incluye 19,300 conductores sindicalizados, 8250 camiones y 335 instalaciones en todo Estados Unidos. Los pedidos varían entre 15 y 20% de lunes a viernes; tener la capacidad de igualar los recursos a las necesidades reduce 100 millones de dólares al año en costos de operación. ¿Quién dice que la administración de operaciones no cambia las cosas?

Los temas que se tocan en este texto le ayudarán a superar los retos que encuentre en las operaciones sin importar el camino profesional que decida seguir. Este capítulo concluye con un reto administrativo que enfrentaron los gerentes de los hoteles Starwood. Los planificadores de reuniones llevan muchos negocios a los hoteles cada año. Sin embargo, el proceso de planificación de reuniones no era uniforme en todos los hoteles de la compañía en el mundo, lo que frustraba a los planificadores que necesitaban organizar reuniones en diferentes lugares.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> ECUACIÓN CLAVE <

La productividad es la razón del valor de las salidas (servicios y productos) producidas, divididas entre el valor de los insumos:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Productos}}{\text{Insumos}}$$

RETO ADMINISTRATIVO

LAS OPERACIONES COMO ARMA COMPETITIVA EN STARWOOD



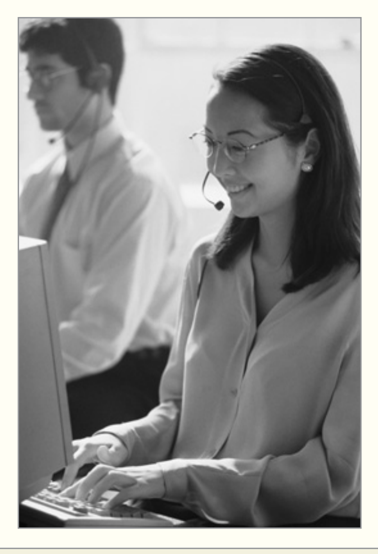
Starwood es una de las empresas hoteleras más grandes del mundo, con más de 750 establecimientos de su propiedad, administrados por la empresa o concedidos en franquicia, en más de 80 países. Las marcas de hospedaje de la compañía incluyen The Luxury Collection, St. Regis, Sheraton, Westin, Four Points y W Hotels. Sus hoteles figuran regularmente en las listas de los mejores del mundo. Comúnmente, los huéspedes de los hoteles pueden ser turistas que viajan por placer, huéspedes de negocios que viajan por su cuenta o forman parte de una reunión o convención.

Cuando los huéspedes se quedan en un hotel de Starwood como parte de una reunión o convención, por lo general los arreglos los lleva a cabo un planificador de reuniones, que trabaja con el hotel para conseguir los salones de reunión y banquetes, y organizar los eventos para los participantes. Antes de 2002, cada hotel de la compañía tenía sus propios métodos de planificación de convenciones; sin embargo, ningún programa coordinado y uniforme dentro de cada marca o entre éstas facilitaba a los planificadores de reuniones hacer negocios con Starwood. Por ejemplo, la documentación para confirmar los detalles del programa, habitaciones y necesidades de bebidas y alimentos diferían entre establecimientos y marcas. En algunos hoteles había diagramas de los espacios para celebrar reuniones y en otros no. La tecnología que se ofrecía en los salones de reunión variaba mucho y en caso de que se presentara alguna necesidad durante un evento no siempre estaba disponible de inmediato un coordinador del hotel.

Reconociendo que el futuro crecimiento y éxito de Starwood dependía en buena medida de sus relaciones con los planificadores de reuniones, la compañía creó grupos de enfoque para recabar información sobre las necesidades y expectativas. Una prioridad clara se hizo evidente: la uniformidad en el proceso de planificación de reuniones, ya sea que éstas se celebraran en el Sheraton de Nueva York, el Westin Kierland de Phoenix o el W. Hotel Lakeshore de Chicago. Dicho programa podría crear uniformidad en todas las marcas y generar lealtad y mayores ingresos provenientes de los planificadores de reuniones que producen grandes volúmenes de ventas en los hoteles Starwood anualmente.

Como resultado de las reuniones, Starwood creó el programa Starwood Preferred Planner (Planificador preferente de Starwood). Cada hotel tiene ahora la misma documentación para el proceso de planificación de reuniones y puede compartir esos documentos a través de medios electrónicos con todos los demás hoteles y marcas. Los contratos se estandarizaron y se crearon nuevas normas para otorgar reconocimiento y premiar a los planificadores frecuentes de reuniones VIP. Se asigna un "Conserje estrella de la reunión" ("Star Meeting Concierge") a cada reunión, cuya única responsabilidad es prever y satisfacer las necesidades del planificador de la reunión durante el evento. Ahora se entregan radioteléfonos Nextel al planificador de la reunión cuando se registra en el hotel, sin ningún cargo adicional, para que tenga acceso al conserje las 24 horas del día.

Para medir el rendimiento del nuevo proceso, Starwood estableció objetivos internos elevados para las puntuaciones que se otorgan en las encuestas a los planificadores de reuniones después de concluidos los eventos. Por ejemplo, en las marcas Luxury Collection y St. Regis, las puntuaciones de cada reunión deben ser al menos de 4.55 en una escala de 5 puntos. En los hoteles Westin y W, las puntuaciones deben ser superiores a 4.35 en una escala de 5 puntos. Las puntuaciones de los hoteles Sheraton deben ser superiores a 4.30 y las de los hoteles Four Points tienen establecida la meta de 4.25 en una escala de 5 puntos. Debido a que las expectativas con respecto a una reunión de un día en un hotel ubicado en un aeropuerto (no celebrada en St. Regis o Luxury Collection) difieren de una experiencia de varios días en un centro turístico, los objetivos reflejan dichas expectativas.



En 2002, Starwood estandarizó sus procesos de operación para poder medir, mejorar y, en última instancia, desarrollar su negocio de convenciones. A cada reunión se asigna un "conserje estrella", que trabaja en estrecha colaboración con los planificadores de la reunión.

Retos administrativos para Starwood

1. ¿Cuáles son los principales insumos y productos asociados con el nuevo proceso de planificación de reuniones de Starwood?
2. ¿Cómo interacciona el proceso de planificación de reuniones de Starwood con los siguientes procesos centrales en los hoteles?
   a. Relaciones con los clientes (internos y externos)
   b. Desarrollo de nuevos servicios o productos
   c. Surtido de pedidos
   d. Relaciones con los proveedores

> TÉRMINOS CLAVE <

administración de operaciones 4
cadena de valor 8
clientes externos 7
clientes internos 7
proceso 4
proceso anidado 7
proceso central 9
proceso de apoyo 9
proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos 9
proceso de relaciones con los clientes 9
proceso de relaciones con los proveedores 9
proceso de surtido de pedidos 9
productividad 13
proveedores externos 7
proveedores internos 7

PROBLEMA RESUELTO 1

El costo de la educación de los estudiantes de la Universidad Boehring es de $100 por hora crédito al semestre. El gobierno estatal complementa los ingresos de la escuela y aporta un dólar por cada dólar que pagan los estudiantes. El tamaño promedio de los grupos de clase en un curso típico de tres créditos es de 50 alumnos. Los costos de mano de obra son de $4000 por grupo, los costos de los materiales ascienden a $20 por estudiante por grupo y los gastos generales son de $25,000 por grupo.

a. ¿Cuál es la productividad *multifactorial* de este proceso de cursos?

b. Si los maestros trabajan en promedio 14 horas a la semana durante 16 semanas, en cada clase equivalente a tres créditos, con un grupo de 50 estudiantes, ¿cuál es la productividad de la *mano de obra?*

SOLUCIÓN

a. La productividad multifactorial es la razón del valor de los productos o servicios al valor de los insumos y recursos.

$$\text{Valor del producto} = \left(\frac{50 \text{ estudiantes}}{\text{clase}}\right)\left(\frac{3 \text{ horas crédito}}{\text{estudiante}}\right)\left(\frac{\$100 \text{ cuota escolar} + \$100 \text{ apoyo estatal}}{\text{hora crédito}}\right)$$
$$= \$30{,}000/\text{clase}$$
$$\text{Valor de los insumos} = \text{Mano de obra} + \text{Materiales} + \text{Gastos generales}$$
$$= \$4{,}000 + (\$20/\text{estudiante} \times 50 \text{ estudiantes/clase}) + \$25{,}000$$
$$= \$30{,}000/\text{clase}$$
$$\text{Productividad multifactorial} = \frac{\text{Producto}}{\text{Insumos}} = \frac{\$30{,}000/\text{clase}}{\$30{,}000/\text{clase}} = 1.00$$

b. La productividad de la mano de obra es la razón del valor del producto o servicio a las horas de trabajo. El valor del producto es el mismo que en la parte (a), o sea, $30,000/clase, por lo que:

$$\text{Horas de trabajo del insumo} = \left(\frac{14 \text{ horas}}{\text{semana}}\right)\left(\frac{16 \text{ semanas}}{\text{clase}}\right) = 224 \text{ horas/clase}$$
$$\text{Productividad de la mano de obra} = \frac{\text{Producto}}{\text{Insumos}} = \frac{\$30{,}000/\text{clase}}{224 \text{ horas/clase}}$$
$$= \$133.93/\text{hora}$$

PROBLEMA RESUELTO 2

Natalie Attire fabrica ropa de moda. En una semana específica, los empleados trabajaron 360 horas para producir un lote de 132 prendas, de las cuales 52 resultaron "segundas" (se les llama así cuando tienen defectos). Las segundas se venderán a $90 cada una en la tienda de fábrica de Attire. Las 80 prendas restantes se venderán a distribuidores minoristas a $200 cada una. ¿Cuál es la productividad de la *mano de obra* de este proceso de manufactura?

SOLUCIÓN

$$\text{Valor del producto} = (52 \text{ defectuosas} \times \$90/\text{defectuosas}) + (80 \text{ prendas} \times \$200/\text{prenda})$$
$$= \$20{,}680$$
$$\text{Horas de trabajo del insumo} = 360 \text{ horas}$$
$$\text{Productividad de la mano de obra} = \frac{\text{Producto}}{\text{Insumos}} = \frac{\$20{,}680}{360 \text{ horas}}$$
$$= \$57.44 \text{ en ventas por hora}$$

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. Considere su último (o actual) empleo.

   a. ¿Qué actividades realizaba?

   b. ¿Quiénes eran sus clientes (internos y externos), y cómo interactuaba con ellos?

   c. ¿Cómo medía el valor para el cliente que usted agregaba al realizar sus actividades?

   d. ¿Qué puesto ocupaba en contabilidad, finanzas, recursos humanos, sistemas de información administrativa, marketing, operaciones u otro? Explique.

2. Haga una lista de posibles terminaciones para esta oración: "La responsabilidad de una empresa es…" (por ejemplo, "*…ganar dinero*" o "*…proporcionar atención médica a sus empleados*"). Haga una lista de las responsabilidades que usted apoyaría y una lista de las que no apoyaría. Forme un pequeño grupo y compare sus listas con las de los demás integrantes del grupo. Discutan los temas y traten de llegar a un consenso. Otra pregunta de discusión sería: "La responsabilidad de un estudiante es…"
3. Las corporaciones multinacionales se forman para hacer frente a la competencia global. Aunque operan en varios países, los trabajadores no tienen sindicatos internacionales. Algunos líderes sindicales se quejan de que las multinacionales crean rivalidades entre sus propias plantas para obtener concesiones de los trabajadores. ¿Qué responsabilidades tienen las corporaciones multinacionales con los países anfitriones, empleados, clientes y accionistas? ¿Apoyaría usted las disposiciones contenidas en tratados de comercio internacional para solucionar este problema? Forme un pequeño grupo y compare sus opiniones con las de los demás integrantes del grupo. Discutan los temas y traten de llegar a un consenso.

> PROBLEMAS <

En cada ejemplar del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. El software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y el objetivo es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo a los cálculos manuales. También puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. (Consulte el Problema resuelto 1). Bajo la dirección del entrenador Bjourn Toulouse, el equipo de futbol americano de los Big Red Herrings ha tenido varias temporadas decepcionantes. Sólo con un mejor sistema de reclutamiento se logrará que el equipo vuelva a ser ganador. Debido a la situación actual del programa, es improbable que los aficionados de la Universidad Boehring apoyen incrementos en el precio de las entradas a los partidos de la temporada, que es de $192. Para mejorar el reclutamiento, los costos generales aumentarán a $30,000 por sección de clase, frente al costo actual de $25,000 por sección de clase. El plan presupuestario de la universidad consiste en pagar los costos de reclutamiento incrementando a 75 estudiantes el tamaño promedio de los grupos. Los costos de mano de obra se elevarán a $6500 por cada curso de tres créditos. Los costos de los materiales serán de alrededor de $25 por estudiante en cada curso de tres créditos. Las cuotas escolares serán de $200 por crédito al semestre y el gobierno estatal hará una aportación de $100 por crédito al semestre.
   a. ¿Cuál es la productividad? En comparación con el resultado obtenido en el Problema resuelto 1, ¿la productividad del proceso de cursos aumentó o disminuyó?
   b. Si los maestros trabajan 20 horas semanales en promedio durante 16 semanas, por cada clase de tres créditos impartida a un grupo de 75 estudiantes, ¿cuál es la productividad de la *mano de obra?*
2. Suds and Duds Laundry lavó y planchó las siguientes cantidades de camisas de vestir por semana

Semana	Trabajadores	Total de horas	Camisas
1	Sud y Dud	24	68
2	Sud y Jud	46	130
3	Sud, Dud y Jud	62	152
4	Sud, Dud y Jud	51	125
5	Dud y Jud	45	131

   a. Calcule la productividad de la *mano de obra* en cada semana.
   b. Explique la pauta de productividad de la mano de obra que se aprecia en los datos.
3. Los reproductores de discos compactos se fabrican en una línea de ensamblaje automatizada. El costo estándar de los reproductores de discos compactos es de $150 por unidad (mano de obra, $30; materiales, $70; y gastos generales, $50). El precio de venta es de $300 por unidad.
   a. Si se desea lograr una mejora de 10% en la productividad multifactorial reduciendo únicamente los costos de materiales, ¿en qué porcentaje habrá que reducir esos costos?
   b. Si se desea lograr una mejora de 10% en la productividad multifactorial reduciendo únicamente los costos de mano de obra, ¿en qué porcentaje habrá que reducir esos costos?
   c. Si se desea lograr una mejora de 10% en la productividad multifactorial reduciendo únicamente los gastos generales, ¿en qué porcentaje habrá que reducir esos gastos?
4. Los productos de un proceso están valuados en $100 por unidad. El costo de la mano de obra es de $50 por hora, incluidas las prestaciones. El departamento de información proporcionó la siguiente información acerca del proceso en las cuatro últimas semanas:

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Unidades producidas	1,124	1,310	1,092	981
Mano de obra ($)	12,735	14,842	10,603	9,526
Materiales ($)	21,041	24,523	20,442	18,364
Gastos generales ($)	8,992	10,480	8,736	7,848

   a. Use la productividad multifactorial para ver si las recientes mejoras del proceso tuvieron algún efecto y, de ser así, cuándo se pudo observar el efecto.
   b. ¿Ha cambiado la productividad de la mano de obra? Utilice la productividad de la mano de obra para justificar su respuesta.

PROBLEMA AVANZADO

5. Big Black Bird Company (BBBC) tiene un pedido grande de uniformes militares especiales forrados de plástico que se usarán en una operación militar urgente. Trabajando los

dos turnos normales de 40 horas, el proceso de producción de BBBC produce normalmente 2,500 uniformes por semana al costo normal de $120 cada uno. En el primer turno trabajan 70 empleados y 30 en el segundo. El precio contratado es de $200 por uniforme. En atención a la urgencia del pedido, BBBC ha recibido autorización para trabajar en la producción las 24 horas del día, 6 días a la semana. Cuando cada uno de los dos turnos trabaja 72 horas a la semana, la producción se incrementa a 4,000 uniformes por semana, pero a un costo de $144 cada uno.

a. ¿La productividad aumentó, disminuyó o permaneció igual? Si cambió, ¿en qué porcentaje lo hizo?
b. ¿La productividad de la mano de obra aumentó, disminuyó o permaneció igual? Si cambió, ¿en qué porcentaje lo hizo?
c. ¿Las utilidades semanales aumentaron, disminuyeron o permanecieron sin cambio?

> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO 

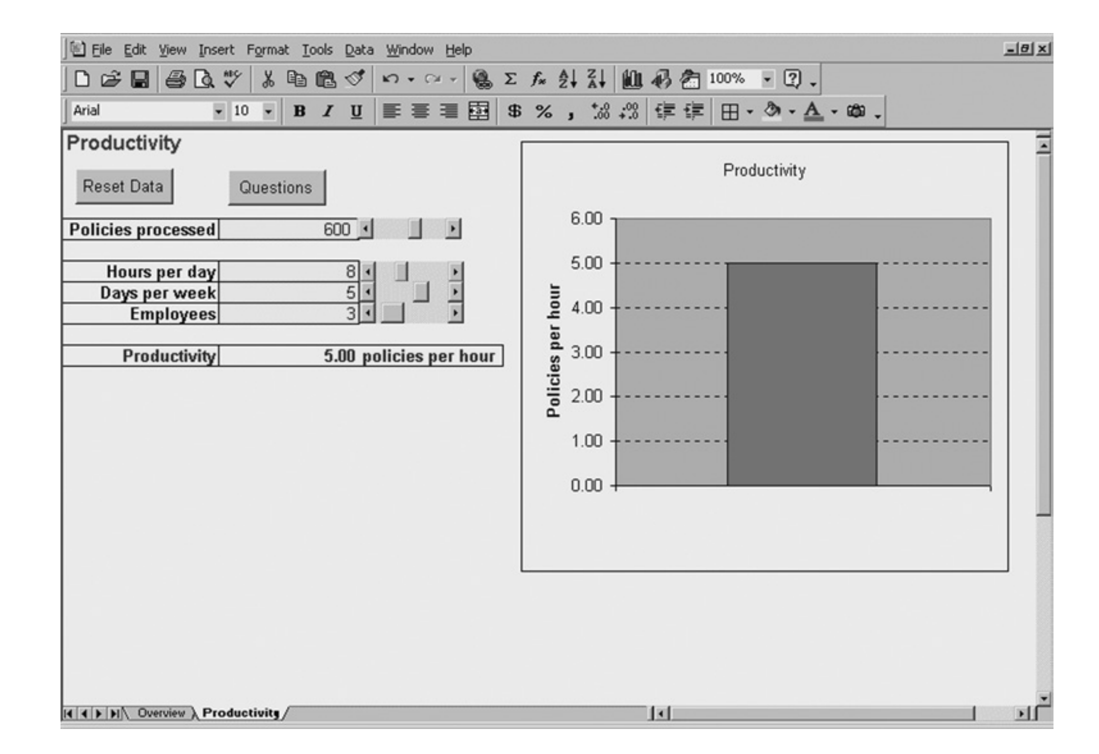
Este Modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante (en inglés). Le permitirá evaluar los elementos importantes en la productividad de la mano de obra.

PREGUNTAS

1. Si la compañía de seguros puede procesar 60 (10%) pólizas más por semana, ¿en qué porcentaje aumentará la medición de la productividad?
2. Suponga que la jornada de ocho horas incluye 45 minutos para comer. ¿Cuál será la medición revisada de la productividad, excluyendo la comida?
3. Si contratan a un empleado, ¿cuál será la cantidad semanal de pólizas procesadas si se mantiene la productividad de cinco pólizas por hora?
4. Suponga que, durante el verano, la compañía trabaja sólo cuatro días por semana. ¿Cuál será la cantidad semanal de pólizas procesadas si se mantiene la productividad de cinco pólizas por hora?

MODELO ACTIVO 1.1

Productividad de la mano obra con datos tomados del ejemplo 1.1



CASO

Chad's Creative Concepts

Chad's Creative Concepts diseña y fabrica muebles de madera. La empresa, fundada por Chad Thomas en la rivera del Lago Erie en Sandusky, Ohio, comenzó fabricando muebles de madera hechos al gusto del cliente para las cabañas de vacaciones situadas a las orillas del Lago Erie y en las islas vecinas de Kelly y Bass. Como todo aficionado a las actividades al aire libre, Chad Thomas deseaba, en un principio, llevar al interior "un poco del paisaje exterior". Chad's Creative Concepts adquirió una reputación sólida por sus diseños creativos y mano de obra de alta calidad. Sus ventas se expandieron con el tiempo a toda la región de los Grandes Lagos. Junto con ese crecimiento se presentaron oportunidades adicionales.

Tradicionalmente, la compañía se había centrado por completo en la fabricación de piezas al gusto del cliente, pues éste especificaba el tipo de madera con la que tendría que fabricarse cada mueble. A medida que la compañía se acreditaba y sus ventas aumentaban, el equipo de vendedores empezó a vender algunos de los muebles más populares a diversas mueblerías con ventas al detalle (menudeo). Esta incursión en las tiendas minoristas llevó a Chad's Creative Concepts a producir una línea de muebles más estandarizados. Los compradores de esa línea se fijaban más en el precio e imponían requisitos de entrega mucho más estrictos que los clientes de la línea personalizada. Sin embargo, los muebles hechos al gusto del cliente siguieron dominando las ventas de la compañía, ya que representaban 60% del volumen y 75% de las ventas en términos de dólares. En la actualidad, la empresa opera un solo proceso manufacturero en Sandusky, mediante el cual fabrica tanto los muebles estandarizados como los que produce a la medida de las necesidades del cliente. El equipo utilizado es, sobre todo, de propósito general, a fin de contar con la flexibilidad necesaria para producir muebles de acuerdo con las especificaciones del cliente. En la distribución de la fábrica, las sierras están agrupadas en una sección, los tornos en otra y así sucesivamente. La calidad del producto terminado es reflejo de la calidad de la madera elegida y la destreza individual de los trabajadores. Tanto los muebles estándar como los personalizados compiten por tiempo de procesamiento utilizando el mismo equipo y empleando a los mismos ebanistas.

En los últimos meses, las ventas de la línea estandarizada aumentaron a ritmo constante, por lo que la programación de esta línea se volvió más regular. Sin embargo, cuando se comparan las ventajas y desventajas de la programación de las dos líneas, los muebles sobre pedido siempre reciben la prioridad en virtud de sus elevadas ventas y amplios márgenes de utilidad. El resultado ha sido que los lotes de muebles estándar programados quedan dispersos por toda la planta en diferentes etapas de fabricación.

Al revisar los avances de Chad's Creative Concepts, Thomas observa con agrado que la compañía ha crecido. Las ventas de los muebles sobre pedido siguen siendo vigorosas y las de los muebles estandarizados aumentan continuamente. Sin embargo, Finanzas y Contabilidad informan que las utilidades no son tan altas como debieran ser. Los costos asociados a la línea de muebles estandarizados van en aumento. Hay dinero detenido en los inventarios, tanto de materias primas como de trabajo en proceso. Es preciso alquilar espacio de almacenamiento público costoso para alojar este volumen de inventario. A Thomas también le preocupa el incremento en el tiempo de espera, tanto de los pedidos estándar como de los personalizados, lo cual alarga los plazos de entrega prometidos. La capacidad se encuentra muy presionada y ya no queda espacio en la planta para una posible expansión. La decisión de Thomas es que ha llegado el momento de examinar minuciosamente el impacto general que la nueva línea de muebles estandarizados está produciendo en el proceso de fabricación.

PREGUNTAS

1. ¿Qué tipos de decisiones tendrá que tomar diariamente Chad Thomas para que las operaciones de su compañía se desarrollen con eficacia? ¿Y en el largo plazo?
2. ¿De qué manera Ventas y Marketing afectaron las operaciones cuando empezaron a vender muebles estandarizados a distribuidores minoristas?
3. ¿De qué forma resultó afectada la estructura financiera de la compañía por la decisión de fabricar muebles estandarizados?
4. ¿Qué podría haber hecho Thomas de manera diferente para evitar algunos de los problemas que hoy enfrenta?

Fuente: Este caso fue elaborado por la doctora Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bowen, David E., Richard B. Chase, Thomas G. Cummings y colaboradores, *Service Management Effectiveness,* San Francisco, Jossey-Bass, 1990.

Buchholz, Rogene A., "Corporate Responsibility and the Good Society: From Economics to Ecology", *Business Horizons,* julio-agosto de 1991, pp. 19–31.

Collier, David A., *The Service Quality Solution,* Milwaukee, ASQC Quality Press, y Burr Ridge, IL, Irwin Professional Publishing, 1994.

Green, Heather, "The Web Smart 50", *Business Week,* 24 de noviembre de 2003, pp. 82–106.

Hayes, Robert H., y Gary P. Pisano, "Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy", *Harvard Business Review,* enero-febrero de 1994, pp. 77–86.

Heskett, James L., W. Earl Sasser Jr. y Christopher Hart, *Service Breakthroughs: Changing the Rules of the Game,* Nueva York, Free Press, 1990.

"The Horizontal Corporation", *Business Week,* 20 de diciembre de 1993, pp. 76–81.

Kaplan, Robert S. y David P. Norton, *Balanced Scoreboard,* Boston, MA, Harvard Business School Press, 1997.

King Jr., Neil, "A Whole New World", *Wall Street Journal,* 27 de septiembre de 2004).

Pande, Peter S., Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh, *The Six Sigma Way,* Nueva York, McGraw-Hill, 2000.

Porter, Michael, *Competitive Advantage,* Nueva York, The Free Press, 1987.

Post, James E., "Managing As If the Earth Mattered", *Business Horizons,* julio-agosto de 1991, pp. 32–38.

Powell, Bill, "It's All Made in China Now", *Fortune,* 4 de marzo de 2002, pp. 121–128.

Roach, Stephen S., "Services Under Siege—The Restructuring Imperative", *Harvard Business Review,* septiembre-octubre de 1991, pp. 82–91.

Rummler, Geary A. y Alan P. Brache, *Improving Performance,* San Francisco, Jossey-Bass, 1995.

Schmenner, Roger W., *Service Operations Management,* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995.

Skinner, Wickham, "Manufacturing—Missing Link in Corporate Strategy", *Harvard Business Review,* mayo-junio de 1969), pp. 136–145.

"Time for a Reality Check in Asia", *Business Week,* 2 de diciembre de 1996, pp. 58–66.

van Biema, Michael y Bruce Greenwald. "Managing Our Way to Higher Service-Sector Productivity", *Harvard Business Review,* julio-agosto de 1997), pp. 87–95.

Womack, James P., Daniel T. Jones y Daniel Roos, *The Machine That Changed the World,* Nueva York, HarperPerennial, 1991.



SUPLEMENTO

Toma de decisiones

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este suplemento, usted podrá:

1. Explicar el análisis de punto de equilibrio, usando tanto el método gráfico como el algebraico.
2. Definir una matriz de preferencias.
3. Identificar las reglas de decisión maximin, maximax, Laplace, rechazo minimax y valor esperado.
4. Explicar cómo se construye una tabla de pagos.
5. Describir cómo se traza y analiza un árbol de decisiones.

Los gerentes de operaciones toman muchas decisiones para administrar los procesos y las cadenas de valor. Aunque los detalles específicos de cada situación varían, la toma de decisiones, por lo general, comprende los mismos pasos básicos: (1) reconocer y definir con claridad el problema; (2) recopilar la información necesaria para analizar las posibles alternativas, y (3) seleccionar e implementar la alternativa más viable.

A veces, basta con meditar profundamente en una habitación tranquila. Pero en otras ocasiones, es necesario recurrir a procedimientos más formales. Aquí se presentarán cuatro de estos procedimientos formales: el análisis de punto de equilibrio, la matriz de preferencias, la teoría de decisiones y el árbol de decisiones.

- *El análisis de punto de equilibrio ayuda al gerente a determinar la magnitud del cambio, ya sea en volumen o demanda, que se requiere para considerar que una segunda alternativa es mejor que la primera.*
- *La matriz de preferencia ayuda al gerente a manejar criterios múltiples que no pueden evaluarse con una sola medición de méritos, como la utilidad o el costo total.*
- *La teoría de decisiones ayuda al gerente a elegir la mejor alternativa cuando los resultados son inciertos.*
- *Un árbol de decisiones ayuda al gerente cuando las decisiones se toman de forma secuencial, es decir, cuando la mejor decisión de hoy depende de las decisiones y acontecimientos de mañana.*

ANÁLISIS DE PUNTO DE EQUILIBRIO

Para evaluar una idea que generará un nuevo servicio o producto, o para evaluar el desempeño de uno existente, resulta útil determinar el volumen de ventas con el cual dicho producto o servicio alcanza el punto de equilibrio. El **punto de equilibrio** es el volumen en el que los ingresos totales son iguales a los costos totales. El uso de esta técnica se conoce como **análisis de punto de equilibrio.** Este análisis también puede emplearse para comparar los procesos, calculando el volumen en el que dos procesos diferentes tienen costos totales iguales.

punto de equilibrio

El volumen en el que los ingresos totales son iguales a los costos totales.

análisis de punto de equilibrio

El uso del punto de equilibrio; puede emplearse para comparar los procesos, calculando el volumen en el que dos procesos diferentes tienen costos totales iguales.

EVALUACIÓN DE SERVICIOS O PRODUCTOS

Empezaremos con el primer propósito: evaluar el potencial de utilidades de un producto o servicio nuevo o existente. Esta técnica ayuda al gerente a responder preguntas como las siguientes:

- ¿El volumen previsto de ventas del servicio o producto es suficiente para alcanzar el equilibrio (ni obtener utilidades ni sufrir pérdidas)?
- ¿Cuán bajo debe ser el costo variable por unidad para alcanzar el equilibrio, con base en los precios actuales y los pronósticos de ventas?
- ¿Cuán bajo debe ser el costo fijo para alcanzar el equilibrio?
- ¿Cómo afectan los niveles de precios el volumen de equilibrio?

El análisis de punto de equilibrio se basa en el supuesto de que todos los costos relacionados con la producción de un servicio o producto específico pueden dividirse en dos categorías: costos variables y costos fijos.

El **costo variable,** c, es la parte del costo total que varía directamente con el volumen de producción: costos por unidad de materiales, mano de obra y, por lo general, cierta fracción de los gastos generales. Si Q es igual al número de clientes atendidos o unidades producidas al año, el costo variable total = cQ. El **costo fijo,** F, es la parte del costo total que permanece constante, independientemente de los cambios en los niveles de producción: el costo anual del alquiler o compra de nuevo equipo e instalaciones (incluyendo depreciación, intereses, impuestos y seguros); salarios; servicios públicos; y una parte de las ventas o el presupuesto de publicidad. Así, el costo total de producir un bien o servicio es igual a los costos fijos más los costos variables multiplicados por el volumen, o

costo variable

La parte del costo total que varía directamente con el volumen de producción.

costo fijo

La parte del costo total que permanece constante, independientemente de los cambios en los niveles de producción.

$$\text{Costo total} = F + cQ$$

Se supone que el costo variable por unidad es el mismo, sin importar lo grande o pequeña que sea Q, y por tanto, el costo total es lineal. Si suponemos que todas unidades producidas se venderán, el ingreso anual total será igual al ingreso por unidad vendida, p, multiplicado por la cantidad vendida, o

$$\text{Ingreso total} = pQ$$

Si el ingreso total es igual al costo total, se obtiene el punto de equilibrio mediante

$$pQ = F + cQ$$
$$(p - c)Q = F$$
$$Q = \frac{F}{p - c}$$

También es posible encontrar el punto de equilibrio gráficamente. Debido a que tanto los costos como los ingresos son relaciones lineales, el punto de equilibrio se encuentra donde la línea del ingreso total cruza la línea del costo total.

EJEMPLO A.1 | **Cálculo del punto de equilibrio**



MODELO ACTIVO A.1

El modelo activo A.1 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adiciones sobre este ejemplo del punto de equilibrio y sus extensiones.

Un hospital está considerando un nuevo procedimiento que se ofrecerá al precio de $200 por paciente. El costo fijo anual sería de $100,000, con costos variables totales de $100 por paciente. ¿Cuál sería el punto de equilibrio de este servicio? Use los dos métodos, el algebraico y el gráfico, para obtener la respuesta.

SOLUCIÓN

Mediante la fórmula del punto de equilibrio se obtiene:

$$Q = \frac{F}{p - c} = \frac{100{,}000}{200 - 100} = 1000 \text{ pacientes}$$

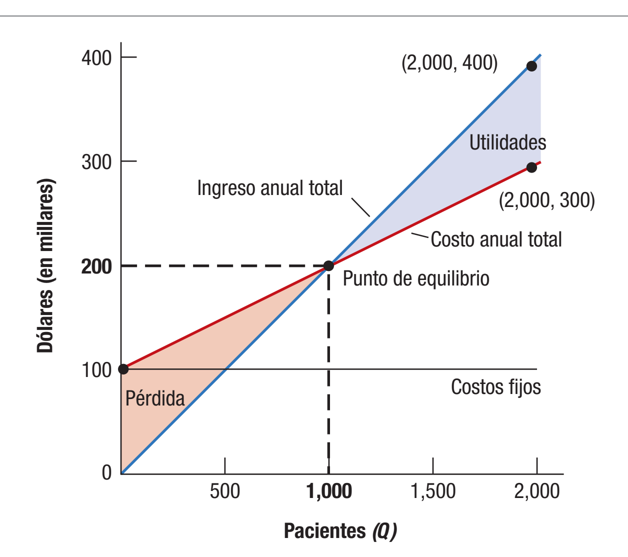


FIGURA A.1

Método gráfico para el análisis de punto de equilibrio

Para encontrar la solución gráfica, trazaremos dos líneas: la de costos y la de ingresos. Dos puntos determinan una línea, de modo que empezaremos por calcular los costos e ingresos para dos niveles de producción diferentes. La tabla siguiente muestra los resultados de $Q = 0$ y $Q = 2000$. Hemos seleccionado cero como primer punto para facilitar el trazado del gráfico del ingreso total (0) y el costo total *(F)*. Sin embargo, podríamos haber elegido dos niveles de producción cualesquiera que estuvieran razonablemente espaciados.

Cantidad (pacientes) (*Q*)	Costo total anual($) (100,000 + 100*Q*)	Ingreso total anual Ingreso ($) (200*Q*)
0	100,000	0
2,000	300,000	400,000

Ahora podemos trazar la línea del costo a través de puntos (0, 100,000) y (2000, 300,000). La línea del ingreso se extiende entre (0, 0) y (2000, 400,000). Como indica la figura A.1, estas dos líneas se cruzan en el punto correspondiente a 1000 pacientes, es decir, el punto de equilibrio.

Punto de decisión La gerencia espera que la cantidad de pacientes que necesitan el nuevo procedimiento rebase el punto de equilibrio de 1000 pacientes, pero primero quiere saber cuán sensible es la decisión a los niveles de demanda antes de tomar la decisión definitiva.



TUTOR A.1

El tutor A.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar el análisis de punto de equilibrio.

El análisis del punto de equilibrio no puede indicarle a un gerente si le conviene seguir adelante con una idea sobre un nuevo servicio o producto o si debe suprimir una línea existente. La técnica sólo puede mostrar lo que es probable que ocurra de acuerdo con diversos pronósticos de costos y volúmenes de ventas. Para evaluar una variedad de preguntas condicionales ("¿qué pasaría si…?"), usamos el método llamado **análisis de sensibilidad,** una técnica para cambiar sistemáticamente los parámetros de un modelo a fin de determinar los efectos de dichos cambios. El concepto puede aplicarse después a otras técnicas, como la programación lineal. Aquí evaluaremos la sensibilidad de la utilidad total a diferentes estrategias de precios, pronósticos de volúmenes de ventas o estimaciones de costos.

análisis de sensibilidad

Técnica para cambiar sistemáticamente los parámetros de un modelo a fin de determinar los efectos de dichos cambios.

Análisis de sensibilidad de los pronósticos de ventas — EJEMPLO A.2

Si el pronóstico de ventas más pesimista para el servicio propuesto en la figura A.1 fuera de 1500 pacientes, ¿cuál sería la contribución total del procedimiento a las utilidades y gastos generales por año?

SOLUCIÓN

El gráfico muestra que aun el pronóstico más pesimista se ubica por encima del volumen de equilibrio, lo que resulta alentador. La contribución total del producto, que se encuentra restando los costos totales de los ingresos totales, es:

$$pQ - (F + cQ) = 200(1{,}500) - [100{,}000 + 100(1{,}500)]$$
$$= \$50{,}000$$

Punto de decisión Aun con el pronóstico más pesimista, el nuevo procedimiento contribuye $50,000 al año. Después de evaluar la propuesta con el método del valor presente, la gerencia agregó el nuevo procedimiento a los servicios del hospital.

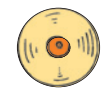
EVALUACIÓN DE PROCESOS

Con frecuencia, es preciso elegir entre dos procesos o entre un proceso interno y la compra de servicios o materiales por fuera. En tales casos, suponemos que la decisión no afectará los ingresos. El gerente debe estudiar todos los costos y ventajas de cada enfoque. En lugar de hallar la cantidad en que el total de los costos es igual al total de los ingresos, el analista calcula la cantidad en la que los costos totales de las dos alternativas son iguales. En el caso de la decisión de fabricar o comprar, se trata de la cantidad en la que el costo total de "comprar" es igual al costo total de "fabricar". Sea F_b igual al costo fijo (por año) de la opción de comprar, F_m igual al costo fijo de la opción de fabricar, c_b igual al costo variable (por unidad) de la opción de comprar, y c_m igual al costo variable de la opción de fabricar. Así, el costo total de comprar es $F_b + c_bQ$ y el costo total de fabricar es $F_m + c_mQ$. Para encontrar el punto de equilibrio, se igualan las dos funciones de costos y se resuelve para Q:

$$F_b + c_bQ = F_m + c_mQ$$
$$Q = \frac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$$

La opción de fabricar debe tomarse en consideración, pasando por alto los factores cualitativos, sólo si sus costos variables son más bajos que los de la opción de comprar. Esto es porque los costos fijos de fabricar el servicio o producto son habitualmente más altos que los costos fijos de comprar. En estas circunstancias, la opción de comprar es mejor si los volúmenes de producción son menores que la cantidad que corresponde al punto de equilibrio. En cuanto se rebasa esta última cantidad, la opción de fabricar resulta preferible.

EJEMPLO A.3 — Análisis de punto de equilibrio para decisiones de fabricar o comprar



MODELO ACTIVO A.2

El modelo activo A.2 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre este ejemplo de fabricar o comprar y sus extensiones.

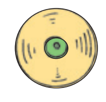
El gerente de un restaurante de comida rápida que vende hamburguesas decide incluir ensaladas en el menú. Existen dos opciones y el precio para el cliente será el mismo con cualquiera de ellas. La opción de fabricar consiste en instalar una barra de ensaladas bien provista de verduras, frutas y aderezos, y dejar que el cliente prepare la ensalada. La barra de ensaladas tendría que pedirse en alquiler y sería necesario contratar un empleado de tiempo parcial que la atendiera. El gerente estima los costos fijos en $12,000 y cree que los costos variables ascenderán a $1.50 por ensalada. La opción de comprar consiste en conseguir las ensaladas ya preparadas y listas para la venta. Éstas tendrían que comprarse a un proveedor local a $2.00 por ensalada. La venta de ensaladas previamente preparadas requeriría la instalación y operación de más refrigeradores, con un costo fijo anual de $2400. El gerente espera vender 25,000 ensaladas al año.

¿Cuál es la cantidad en la que se alcanza el punto de equilibrio?

SOLUCIÓN

Usando la fórmula del punto de equilibrio se obtiene:

$$Q = \frac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$$
$$= \frac{12{,}000 - 2{,}400}{2.0 - 1.5} = 19{,}200 \text{ ensaladas}$$



TUTOR A.2

El tutor A.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar el análisis de punto de equilibrio en las decisiones de fabricar o comprar.

En la figura A.2 se muestra la solución obtenida con el *Solver de análisis de punto de equilibrio* de OM Explorer. La cantidad en la que se alcanza el punto de equilibrio es de 19,200 ensaladas. En virtud de que el pronóstico de ventas de 25,000 ensaladas es superior a esta cantidad, la opción de fabricar resulta preferible. Sólo si el restaurante esperara vender menos de 19,200 ensaladas, la opción de comprar sería la mejor.

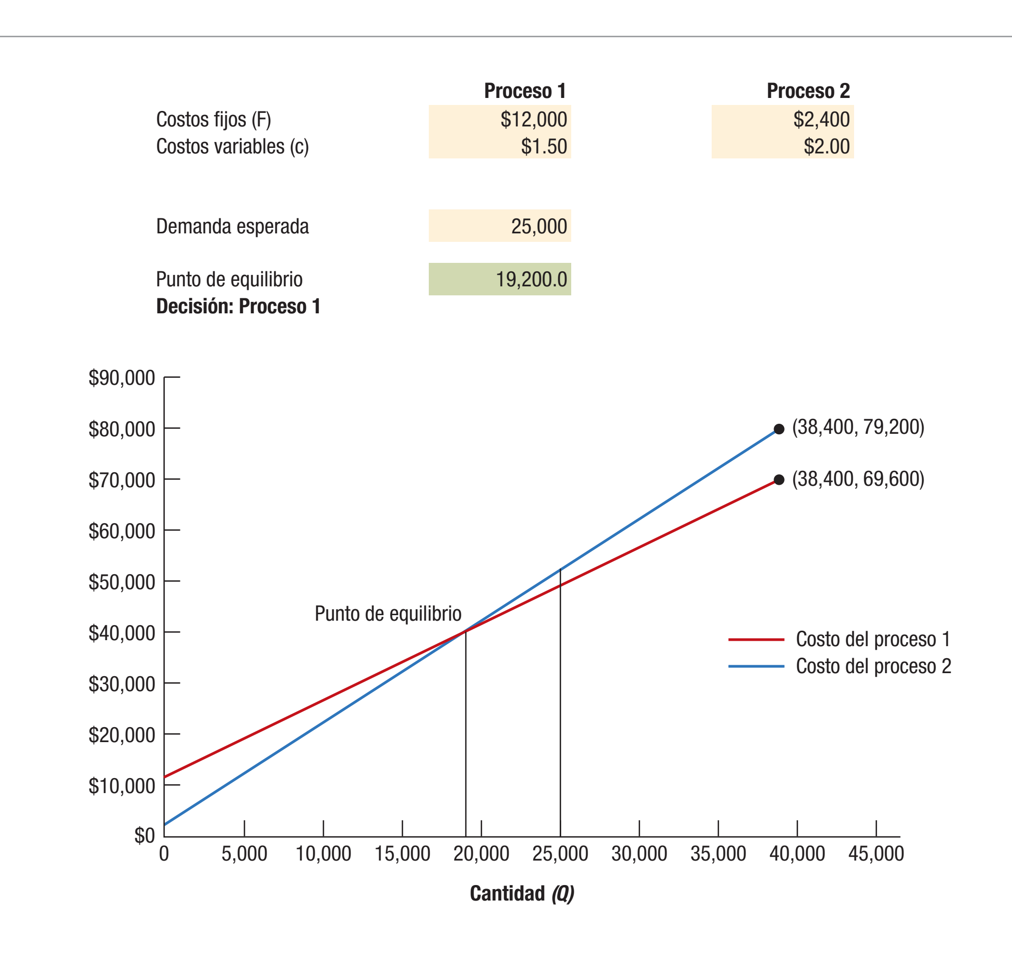


FIGURA A.2

Solver de análisis de punto de equilibrio para el ejemplo A.3

Punto de decisión La gerencia eligió la opción de fabricar después de considerar otros factores cualitativos, como las preferencias de los clientes y la incertidumbre en la demanda. Un factor decisivo fue que el pronóstico de ventas de 25,000 ensaladas es muy superior a la cantidad de 19,200 ensaladas en la que se alcanza el punto de equilibrio.

MATRIZ DE PREFERENCIAS

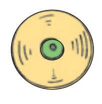
Con frecuencia es necesario tomar decisiones en situaciones en las que no es posible combinar naturalmente criterios múltiples en una sola medición (como dólares). Por ejemplo, un gerente que tuviera que decidir en cuál de dos ciudades es más conveniente establecer una nueva planta, tendría que tomar en consideración factores que no pueden cuantificarse, como la calidad de vida, las actitudes de los empleados hacia el trabajo y la aceptación de la comunidad en las dos ciudades. Estos factores importantes no pueden pasarse por alto. Una **matriz de preferencias** es una tabla que permite al gerente calificar una alternativa de acuerdo con varios criterios de desempeño. Estos criterios pueden calificarse con base en cualquier escala, como del 1 (peor posible) al 10 (mejor posible), o del 0 al 1, con tal de que se aplique la misma escala a todas las alternativas que se desea comparar. Cada puntaje se pondera de acuerdo con la percepción de su respectiva importancia, y típicamente el total de esas ponderaciones es 100. El puntaje total es la suma de los puntajes ponderados (la ponderación multiplicada por el puntaje) de todos los criterios. El gerente compara los puntajes de las distintas alternativas, ya sea unos con otros o con un límite predeterminado.

matriz de preferencias

Una tabla que permite al gerente calificar una alternativa de acuerdo con varios criterios de desempeño.

Evaluación de una alternativa con una matriz de preferencias — EJEMPLO A.4

La tabla que se presenta al principio de la página 30 muestra los criterios de desempeño, ponderaciones y puntajes (1 = peor, 10 = mejor) correspondientes a un nuevo producto: un aparato de aire acondicionado para almacenamiento térmico. Si la gerencia desea lanzar al mercado sólo un nuevo producto y el puntaje total más alto de las ideas sobre otros productos es 800, ¿debe la empresa insistir en fabricar el aparato de aire acondicionado?



TUTOR A.3

El tutor A.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar con las matrices de preferencias.

Criterio de desempeño	Ponderación (A)	Puntaje (B)	Puntaje ponderado ($A \times B$)
Potencial de mercado	30	8	240
Margen de utilidad unitaria	20	10	200
Compatibilidad con operaciones	20	6	120
Ventaja competitiva	15	10	150
Requisitos de inversión	10	2	20
Riesgo del proyecto	5	4	20
		Puntaje ponderado =	750

SOLUCIÓN

Puesto que la suma de puntajes ponderados es de 750, no llega al puntaje de 800 que correspondería a otro producto. Este resultado se confirma con el obtenido con el *Solver de matrices de preferencias* de OM Explorer en la figura A.3.

FIGURA A.3

Solver de matrices de preferencias para el ejemplo A.4

Insertar un criterio | Agregar un criterio | Quitar un criterio

	Ponderación (A)	Puntaje (B)	Puntaje ponderado (A x B)
Potencial de mercado	30	8	240
Margen de utilidad unitaria	20	10	200
Compatibilidad con operaciones	20	6	120
Ventaja competitiva	15	10	150
Requisitos de inversión	10	2	20
Riesgo del proyecto	5	4	20
	Puntaje ponderado final		750

Punto de decisión La gerencia debe abandonar la idea del acondicionador de aire para almacenamiento término. Otra idea para un nuevo producto es mejor, considerando los criterios múltiples, y la gerencia sólo quería lanzar al mercado un nuevo producto a la vez.

No todos los gerentes se sienten cómodos con la técnica de la matriz de preferencias. Ésta exige que el gerente establezca ponderaciones para los criterios antes de examinar las alternativas, aun cuando no sea fácil percibir de inmediato cuáles son las ponderaciones apropiadas. Es posible que sólo después de haber visto los puntajes de varias alternativas, el gerente sea capaz de decidir qué es importante y qué no lo es. Debido a que un puntaje bajo en un criterio puede compensarse o anularse con puntajes altos en otros, el método de la matriz de preferencias también puede ser causa de que los gerentes pasen por alto ciertas señales importantes. En el ejemplo A.4, la inversión que requiere el acondicionador de aire para almacenamiento térmico podría rebasar la capacidad financiera de la empresa. En ese caso, el gerente no debería considerar siquiera esa alternativa, sin importar cuán elevado fuera su puntaje.

> TEORÍA DE DECISIONES <

teoría de decisiones

Aproximación general a la toma de decisiones cuando los resultados correspondientes a las distintas alternativas frecuentemente son dudosos.

La **teoría de decisiones** es una aproximación general a la toma de decisiones cuando los resultados asociados con las distintas alternativas con frecuencia son dudosos. Esta teoría ayuda a los gerentes de operaciones en sus decisiones sobre los procesos, capacidad, localización e inventario, porque todas estas decisiones se refieren a un futuro incierto. Los gerentes de otras áreas funcionales también pueden aplicar la teoría de decisiones. Según esta teoría, el gerente toma decisiones mediante el siguiente proceso.

1. Hacer una lista de las *alternativas* viables. Una alternativa que siempre debe tomarse en consideración como base de referencia es la de no hacer nada. Uno de los supuestos básicos es que el número de alternativas es finito. Por ejemplo, para decidir en qué lugar será conveniente establecer una nueva tienda de ventas al menudeo dentro de cierta zona de la ciudad, el gerente podría considerar, en teoría, todas y cada una de las coordenadas de una cuadrícula trazada sobre el mapa de la ciudad. Sin embargo, en términos realistas, el gerente tiene que reducir sus opciones a un número razonable.
2. Hacer una lista de los *acontecimientos* (llamados a veces *acontecimientos fortuitos* o *estados de la naturaleza*) que tienen alguna repercusión en el resultado de la opción seleccionada, pero que están fuera del control del gerente. Por ejemplo, la demanda que tenga la nueva instalación podrá ser alta o baja, pero eso dependerá no sólo de que su localización les resulte conveniente a muchos clientes, sino también de lo que haga la competencia y de las tendencias generales del comercio minorista. A continuación, el gerente agrupa esos acontecimientos en categorías razonables. Por ejemplo, pongamos por caso que el número promedio de ventas diarias oscila entre 1 y 500. En lugar de incluir 500 acontecimientos, el gerente podría representar la demanda con tres acontecimientos solamente: 100 ventas/día, 300 ventas/día o 500 ventas/día. Esos acontecimientos deberán ser mutuamente excluyentes y exhaustivos, lo cual significa que no deben traslaparse y que deben abarcar todas las eventualidades.
3. Calcular el *beneficio* de cada alternativa, en cada acontecimiento. Típicamente, el beneficio es la utilidad total o el costo total. Estos beneficios pueden asentarse en una **tabla de beneficios**, que muestra el monto que correspondería a cada alternativa si en realidad ocurriera cada uno de los posibles acontecimientos. Con 3 alternativas y 4 acontecimientos, la tabla tendría 12 beneficios (3×4). Si se producen distorsiones considerables cuando no se reconoce el valor del dinero en el tiempo, los beneficios deben expresarse como valores presentes o como tasas internas de rendimiento. Si se trata de criterios múltiples con factores cualitativos importantes, se utilizan como beneficios los puntajes ponderados del método de la matriz de preferencias.
4. Estimar la posibilidad de que ocurra cada acontecimiento a partir de datos anteriores, opiniones de los ejecutivos u otros métodos de pronóstico. Esto se expresa como una *probabilidad,* asegurándose de que la suma de todas las probabilidades sea 1.0. Es conveniente crear estimaciones de probabilidades a partir de datos anteriores si se considera que el pasado es un buen indicador del futuro.
5. Seleccionar una *regla de decisión* para evaluar las alternativas; por ejemplo, escoger la alternativa que tenga el costo esperado mas bajo. La regla elegida dependerá de la cantidad de información con la que cuente el gerente acerca de las probabilidades de cada acontecimiento, y también de las actitudes del gerente frente al riesgo.

tabla de beneficios

Tabla que muestra el monto que correspondería a cada alternativa si ocurriera en realidad cada uno de los posibles acontecimientos.

Aplicando este procedimiento, examinaremos decisiones tomadas en tres situaciones diferentes: certidumbre, incertidumbre y riesgo.

TOMA DE DECISIONES BAJO CERTIDUMBRE

La situación más sencilla se presenta cuando el gerente sabe qué acontecimiento va a ocurrir. En este caso, la regla de decisión consiste en escoger la alternativa que produzca el mejor beneficio con el acontecimiento conocido. La mejor alternativa será el beneficio más grande si los beneficios se expresan como utilidades. Si se expresan como costos, la mejor alternativa será el beneficio más bajo.

Decisiones bajo certidumbre — EJEMPLO A.5

Un gerente tiene que decidir si conviene construir una instalación pequeña o una grande. Mucho depende de la futura demanda que la instalación tenga que atender, y dicha demanda puede ser grande o pequeña. El gerente conoce con certeza los beneficios que producirá cada alternativa, que se muestran la siguiente tabla de beneficios. Los beneficios (en $000) son los valores presentes de los ingresos futuros menos los costos que corresponden a cada alternativa, en cada uno de los acontecimientos.

	Posible demanda futura	
Alternativa	Baja	Alta
Instalación pequeña	200	270
Instalación grande	160	800
No hacer nada	0	0

¿Cuál es la mejor opción si la demanda futura va a ser baja?

SOLUCIÓN

En este ejemplo, la mejor opción es la que produce el beneficio más grande. Si el gerente sabe que la demanda futura va a ser baja, la compañía debe construir una instalación pequeña y disfrutar de un beneficio de $200,000. La instalación grande reporta un beneficio de sólo $160,000. La alternativa de "no hacer nada" está dominada por las otras alternativas; es decir, el resultado de una alternativa no es mejor que el resultado de la otra en cada acontecimiento. En virtud de que la alternativa de "no hacer nada" está dominada, el gerente la descarta.

Punto de decisión Si la gerencia conoce en realidad la demanda futura, construirá la instalación pequeña si la demanda va a ser baja, y la instalación grande, si la demanda va a ser alta. Si la demanda es incierta, debe considerar otras reglas de decisión.

TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE

En este caso, suponemos que el gerente hace la lista de los posibles acontecimientos, pero no puede estimar sus respectivas probabilidades. Tal vez por falta de experiencia, a la empresa le resulta difícil estimar las probabilidades. En esa situación, el gerente tiene la posibilidad de aplicar una de cuatro reglas de decisión.

1. *Maximin*. Elegir la alternativa que sea "la mejor de las peores". Esta regla es para el *pesimista* que prevé el "peor caso" en cada alternativa.
2. *Maximax*. Elegir la alternativa que sea "la mejor de las mejores". Esta regla es para el *optimista* que tiene grandes expectativas y prefiere "pensar en grande".
3. *Laplace*. Elegir la alternativa que tenga el mejor *beneficio ponderado*. Para encontrar el beneficio ponderado, debe concederse la misma importancia (o si no, la misma probabilidad) a todos los acontecimientos. Si hay *n* acontecimientos, la importancia (o probabilidad) de cada uno es $1/n$, de manera que la suma de todos será 1.0. Esta regla es para la persona *realista*.
4. *Rechazo minimax*. Elegir la alternativa que tenga el mejor de los "peores rechazos". Calcule una tabla de rechazos (o pérdidas de oportunidad), en la cual las filas representen las alternativas y las columnas representen los acontecimientos. El rechazo es la diferencia entre un beneficio dado y el mejor beneficio de la misma columna. En el caso de un acontecimiento, esa cifra muestra cuánto se pierde al escoger una alternativa que no sea la mejor para ese acontecimiento. El rechazo puede consistir en ganancias perdidas o en un incremento del costo, según la situación.

EJEMPLO A.6 Decisiones bajo incertidumbre



TUTOR A.4

El tutor A.4 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para tomar decisiones bajo incertidumbre.

Considere de nuevo la matriz de beneficios del ejemplo A.5. ¿Cuál es la mejor alternativa para cada regla de decisión?

SOLUCIÓN

a. *Maximin:* el peor beneficio de una alternativa es el número *más bajo* que aparece en la fila respectiva de la matriz de beneficios, porque los beneficios son utilidades. Los peores beneficios ($000) son:

Alternativa	Peor beneficio
Instalación pequeña	200
Instalación grande	160

El mejor de esos números peores es $200,000, por lo cual el pesimista decidiría construir una instalación pequeña.

b. *Maximax:* el mejor beneficio de una alternativa ($000) es el número más alto que aparece en la fila respectiva de la matriz de beneficios, o

Alternativa	Mejor beneficio
Instalación pequeña	270
Instalación grande	800

El mejor de esos números mejores es $800,000, por lo cual el optimista decidiría construir una instalación grande.

c. *Laplace:* si se trata de dos acontecimientos, asignamos a cada uno una probabilidad de 0.5. Así, los beneficios ponderados ($000) son:

Alternativa	Beneficio ponderado
Instalación pequeña	0.5(200) + 0.5(270) = **235**
Instalación grande	0.5(160) + 0.5(800) = **480**

El mejor de esos beneficios ponderados es $480,000, por lo cual la persona realista optaría por construir una instalación grande.

d. *Rechazo minimax:* si la demanda resulta ser baja, la mejor alternativa es una instalación pequeña y su rechazo es 0 (o sea, 200 – 200). Si se construye una instalación grande cuando la demanda resulta ser baja, el rechazo es 40 (o sea, 200 – 160).

	Rechazo		
Alternativa	**Demanda baja**	**Demanda alta**	**Rechazo máximo**
Instalación pequeña	200 − 200 = **0**	800 − 270 = **530**	**530**
Instalación grande	200 − 160 = **40**	800 − 800 = **0**	**40**

La columna de la derecha muestra el peor rechazo en cada una de las alternativas. Para minimizar el rechazo máximo, se elige una instalación grande. El mayor rechazo se produce en el caso en que se tiene sólo una instalación pequeña y hay una gran demanda.

Punto de decisión El pesimista elegiría la instalación pequeña. El realista, el optimista y el gerente que opta por minimizar el rechazo máximo construirían la instalación grande.

TOMA DE DECISIONES BAJO RIESGO

En este caso, suponemos que el gerente prepara la lista de acontecimientos y estima las probabilidades. Ahora el gerente cuenta con menos información que en la toma de decisiones bajo certidumbre, pero más información que en la toma de decisiones bajo incertidumbre. La regla de decisión del *valor esperado* se usa muy a menudo en estas situaciones intermedias. El valor esperado de una alternativa se encuentra ponderando cada beneficio con su probabilidad asociada y sumando después los puntajes de los beneficios ponderados. Se elige la alternativa que tenga el mejor valor esperado (el más alto si se trata de utilidades y el más bajo si se refiere a costos).

Esta regla es muy parecida a la regla de decisión de Laplace, salvo que aquí no se supone que todos los acontecimientos sean igualmente probables (o igualmente importantes). El valor esperado es equivalente a lo que sería el beneficio *promedio* si la decisión pudiera repetirse una y otra vez. Por supuesto, la regla de decisión del valor esperado puede producir un mal resultado cuando se presenta un acontecimiento inadecuado. Sin embargo, reporta los mejores resultados si se aplica sistemáticamente durante un periodo largo. Esta regla no debe aplicarse si el gerente es propenso a eludir los riesgos.

Decisiones bajo riesgo — EJEMPLO A.7

Considere de nuevo la matriz de beneficios del ejemplo A.5. Para la regla de decisión del valor esperado, ¿cuál es la mejor alternativa si la probabilidad de que la demanda sea pequeña se estima en 0.4 y la probabilidad de que la demanda sea grande se estima en 0.6?

SOLUCIÓN

El valor esperado para cada alternativa es:

Alternativa	Valor esperado
Instalación pequeña	0.4(200) + 0.6(270) = **242**
Instalación grande	0.4(160) + 0.6(800) = **544**

Punto de decisión La gerencia escogería una instalación grande si siguiera la regla de decisión del valor esperado, porque ésta ofrece los mejores resultados a largo plazo si se aplica sistemáticamente a través del tiempo.

ÁRBOLES DE DECISIONES

El método del árbol de decisiones es una aproximación general a una amplia gama de decisiones de OM (del inglés *operations management*; significa administración de operaciones) como las de planificación de productos, análisis de procesos, capacidad de proceso y localización. Este método resulta particularmente valioso para evaluar diferentes alternativas de expansión de la capacidad cuando la demanda es incierta y hay que tomar decisiones secuenciales. Por ejemplo, es posible que una compañía amplíe una instalación en 2007 y descubra en 2010 que la demanda es mucho más alta de lo que los pronósticos indicaban. En ese caso puede ser necesario tomar una segunda decisión para determinar si se debería hacer una nueva ampliación o si sería mejor construir una segunda instalación.

árbol de decisiones

Modelo esquemático de las alternativas disponibles para quien va a tomar la decisión, y las posibles consecuencias de cada una.

Un **árbol de decisiones** es un modelo esquemático de las alternativas disponibles para quien va a tomar la decisión, y de las posibles consecuencias de cada una. Su nombre proviene del aspecto del modelo, parecido al de un árbol. El modelo está conformado por una serie de *nodos* cuadrados, que representan puntos de decisión, de los cuales surgen *ramas* (que deben leerse de izquierda a derecha), que representan las distintas alternativas. Las ramas que salen de nodos circulares, o fortuitos, representan los acontecimientos. La probabilidad de cada acontecimiento fortuito, *P(E)*, se indica encima de cada rama. Las probabilidades de todas las ramas que salen de un nodo fortuito deben sumar 1.0. El beneficio condicional, que es el beneficio de cada posible combinación de alternativa y acontecimiento, se indica al final de cada combinación. Los beneficios se dan sólo al principio, antes de que empiece el análisis, para los puntos finales de cada combinación de alternativa y acontecimiento. En la figura A.4, por ejemplo, el beneficio 1 es el resultado financiero que el gerente espera obtener si se escoge la alternativa 1 y luego se presenta el acontecimiento fortuito 1. Todavía no se puede asociar ningún beneficio con las ramas que están más a la izquierda, como la alternativa 1 en su totalidad, porque va seguida de un acontecimiento fortuito y no es un punto final. Los beneficios se expresan a menudo como el valor presente de las utilidades netas. Si los ingresos no resultan afectados por la decisión, entonces el beneficio se expresa como costos netos.

Después de trazar el árbol de decisiones, lo resolveremos avanzando de derecha a izquierda para calcular el *beneficio esperado* de cada nodo como se indica a continuación:

1. Para un nodo de acontecimiento, multiplicamos el beneficio de cada rama de acontecimiento por la probabilidad del acontecimiento. Sumamos estos productos para obtener el beneficio esperado del nodo del acontecimiento.
2. Para un nodo de decisión, elegimos la alternativa que tenga mejor beneficio esperado. Si una alternativa conduce a un nodo de acontecimiento, su beneficio es igual al beneficio esperado de ese nodo (que ya se calculó). “Cortamos” o “podamos” las demás ramas no elegidas, tachándolas con dos líneas cortas. El beneficio esperado del nodo de decisión es el que se asocia con la única rama restante que no se podó.

FIGURA A.4

Un modelo de árbol de decisiones

Este proceso continúa hasta llegar al nodo de decisión que se encuentra más a la izquierda. La rama no podada que sale de él es la mejor alternativa disponible. Si intervienen decisiones en múltiples etapas, es necesario esperar acontecimientos posteriores antes de decidir qué hacer a continuación. Si se obtienen nuevas estimaciones de probabilidades o beneficios, se repite el proceso.

Hay varios programas de software comerciales para trazar árboles de decisiones. Se puede usar PowerPoint para trazar árboles de decisiones, aunque no tiene la capacidad de analizarlos. Encontrará capacidades más amplias, además de OM Explorer, en SmartDraw (**www.smartdraw.com**), análisis de decisiones PrecisionTree de Palisade Corporation (**www.palisade.com/html/ptree.html**) y TreePlan (**www.treeplan.com/treeplan.htm**).

Análisis de un árbol de decisiones

EJEMPLO **A.8**

Un minorista tiene que decidir si la instalación que construirá en una nueva localización será grande o pequeña. La demanda en ese lugar puede ser pequeña o grande, con probabilidades estimadas en 0.4 y 0.6, respectivamente. Si se construye una instalación pequeña y la demanda resulta ser alta, el gerente podrá elegir entre no ampliar dicha instalación (beneficio = $223,000) o ampliarla (beneficio = $270,000). Si construye una instalación pequeña y la demanda es baja, no habrá razón para expandirse y el beneficio será de $200,000. Si se construye una instalación grande y la demanda resulta baja, las opciones son no hacer nada ($40,000) o estimular la demanda por medio de publicidad local. La respuesta a esa publicidad puede ser modesta o considerable, con probabilidades estimadas en 0.3 y 0.7, respectivamente. Si la respuesta es modesta, el beneficio estimado será de solamente $20,000; el beneficio se incrementaría a $220,000 si la respuesta fuera considerable. Finalmente, si se construye una instalación grande y la demanda resulta ser alta, el beneficio será de $800,000.

Trace un árbol de decisiones. Analícelo después para determinar el beneficio esperado de cada nodo de decisión y de acontecimiento. ¿Qué alternativa tiene el mayor beneficio esperado: la construcción de una instalación pequeña o la construcción de una instalación grande?

MODELO ACTIVO A.3

El modelo activo A.3 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adiciones sobre este ejemplo de árbol de decisiones y sus extensiones.

SOLUCIÓN

El árbol de decisiones de la figura A.5 muestra la probabilidad de los acontecimientos y el beneficio de cada una de las siete combinaciones de alternativa y acontecimiento. La primera decisión es si conviene construir una instalación pequeña o una grande. El nodo respectivo se muestra primero, a la izquierda, porque es la decisión que el minorista debe tomar ahora. El segundo nodo de decisión (la opción de hacer una ampliación en fecha posterior) sólo se alcanzará si se construye una instalación pequeña y la demanda resulta ser alta. Por último, al tercer punto de decisión (la opción de hacer publicidad) se llegará solamente si el minorista decide construir una instalación grande y la demanda resulta ser baja.

El análisis del árbol de decisiones comienza con el cálculo de los beneficios esperados, de derecha a izquierda, que se ilustran en la figura A.5, debajo de los nodos correspondientes de acontecimiento y decisión.

1. Para el nodo de acontecimiento referente a hacer publicidad, el beneficio esperado es de 160, o sea, la suma del beneficio de cada acontecimiento ponderado de acuerdo con su probabilidad [0.3(20) + 0.7(220)].
2. El beneficio esperado del nodo de decisión 3 es de 160 porque *Hacer publicidad* (160) es mejor que *No hacer nada* (40). Corte pues la alternativa No hacer nada.

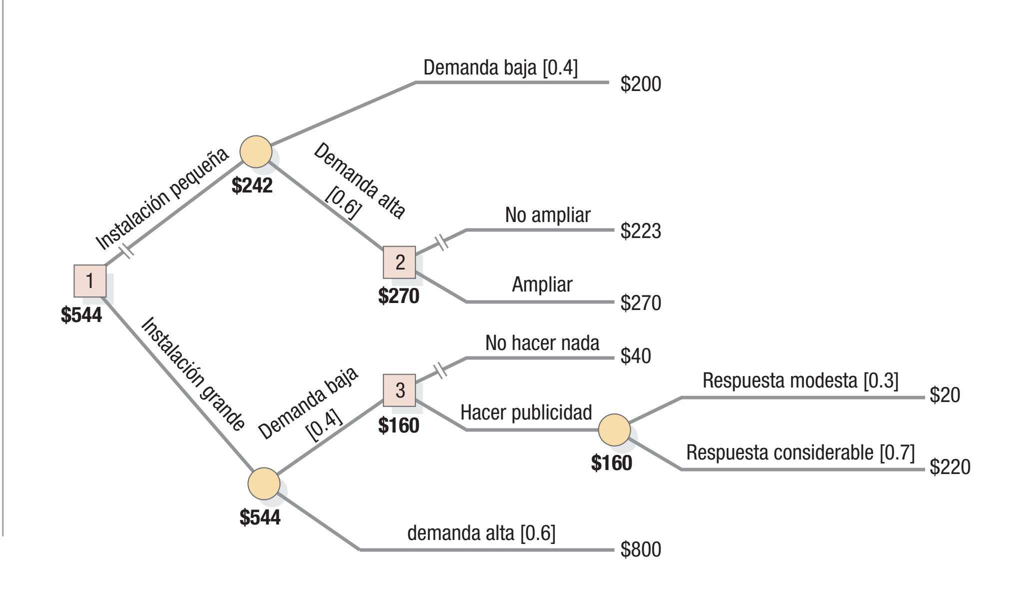


FIGURA A.5

Árbol de decisiones de un minorista (en $000)

3. El beneficio del nodo de decisión 2 es de 270 porque *Ampliar* (270) es mejor que *No ampliar* (223). Corte *No ampliar*.
4. El beneficio esperado del nodo de acontecimiento referente a la demanda, suponiendo que se construya una instalación pequeña, es de 242 [o sea, 0.4(200) + 0.6(270)].
5. El beneficio esperado del nodo de acontecimiento referente a la demanda, suponiendo que se construya una instalación grande, es de 544 [o sea, 0.4(160) + 0.6(800)].
6. El beneficio esperado del nodo de decisión 1 es de 544 porque el beneficio esperado de la instalación grande es el mayor. Corte *Instalación pequeña*.

Punto de decisión El comerciante minorista debe construir la instalación grande. Esta decisión inicial es la única que tomará por ahora el minorista. Las decisiones subsiguientes se tomarán después de averiguar si la demanda efectivamente es alta o baja.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este suplemente.

ECUACIONES CLAVE

1. Volumen de equilibrio: $Q = \dfrac{F}{p - c}$

2. Evaluación de procesos, cantidad de indiferencia entre fabricar o comprar: $Q = \dfrac{F_m - F_b}{c_b - c_m}$

TÉRMINOS CLAVE

análisis de punto de equilibrio 26
análisis de sensibilidad 27
árbol de decisiones, 34
costo fijo 26
costo variable 26
matriz de preferencias 29
punto de equilibrio 26
tabla de beneficios 31
teoría de decisiones 30

PROBLEMA RESUELTO 1

La propietaria de una pequeña empresa manufacturera ha patentado un nuevo dispositivo para lavar platos y limpiar fregaderos de cocina sucios. Antes de tratar de comercializar el dispositivo y agregarlo a su línea de productos actual, desea asegurarse, dentro de razonable, de que tendrá éxito. Los costos variables se han estimado en $7 por unidad producida y vendida. Los costos fijos ascienden aproximadamente a $56,000 al año.

a. Si el precio de venta se establece en $25, ¿cuántas unidades deberán fabricarse y venderse para alcanzar el punto de equilibrio? Use los métodos algebraico y gráfico.

b. Las ventas pronosticadas para el primer año son de 10,000 unidades si el precio se reduce a $15. Con esta estrategia de precios, ¿cuál sería la contribución total del producto a las utilidades en el primer año?

FIGURA A.6

Dólares (en millares)
250
200
150
100
$77.7
50
0
Ingresos totales
Punto de equilibrio
Costos totales
3.1
1 2 3 4 5 6 7 8
Unidades (en millares)

SOLUCIÓN

a. Comenzando con el método algebraico, obtenemos

$$Q = \frac{F}{p-c} = \frac{56{,}000}{25-7}$$
$$= 3111 \text{ unidades}$$

Aplicando el método gráfico ilustrado en la figura A.6, dibujamos primero dos líneas:

$$\text{Ingreso total} = 25Q$$
$$\text{Costo totalt} = 56{,}000 + 7Q$$

Las dos líneas se cruzan en $Q = 3{,}111$ unidades, la cantidad en la que se alcanza el punto de equilibrio.

b. Contribución total a las utilidades = Ingreso total – Costo total

$$= pQ - (F + cQ)$$
$$= 15(10{,}000) - [56{,}000 + 7(10{,}000)]$$
$$= \$24{,}000$$

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Binford Tool Company está evaluando tres ideas sobre nuevos productos, A, B y C. Las restricciones de recursos permiten que solo uno de ellos se comercialice. Los criterios de desempeño y las calificaciones, en una escala de 1 (peor) a 10 (mejor), se muestran en la siguiente tabla. Los gerentes de Binford han asignado ponderaciones iguales a los criterios de desempeño. ¿Cuál es la mejor alternativa, según el método de la matriz de preferencias?

		Rating	
Criterio de desempeño	**Producto A**	**Producto B**	**Producto C**
1. Incertidumbre respecto a la demanda y riesgo del proyecto	3	9	2
2. Semejanza con productos actuales	7	8	6
3. Rendimiento esperado de la inversión (ROI)	10	4	8
4. Compatibilidad con los procesos manufactureros actuales	4	7	6
5. Ventaja competitiva	4	6	5

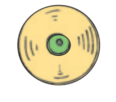
SOLUCIÓN

Cada uno de los cinco criterios recibe una ponderación de 1/5 o 0.20.

Producto	Cálculo	Puntaje total
A	(0.20 × 3) + (0.20 × 7) + (0.20 × 10) + (0.20 × 4) + (0.20 × 4)	= 5.6
B	(0.20 × 9) + (0.20 × 8) + (0.20 × 4) + (0.20 × 7) + (0.20 × 6)	= 6.8
C	(0.20 × 2) + (0.20 × 6) + (0.20 × 8) + (0.20 × 6) + (0.20 × 5)	= 5.4

La mejor opción es el producto B. Los productos A y B están muy rezagados en términos del puntaje ponderado total.

> PROBLEMA RESUELTO 3 <



TUTOR A.6

El tutor A.6 en el CD-ROM del estudiante examina decisiones bajo incertidumbre en un ejemplo de localización.

Adele Weiss administra la florería de la universidad. Los pedidos de flores a su proveedor, en México, deben hacerse con tres días de anticipación. A pesar de que el día de San Valentín se acerca rápidamente, las ventas se generan casi en su totalidad por compras impulsivas de último minuto. Las ventas hechas con anticipación son tan pequeñas que Weiss no puede estimar las probabilidades de que la demanda de rosas rojas sea baja (25 docenas), mediana (60 docenas) o alta (130 docenas) cuando llegue el gran día. Ella compra las rosas a $15 la docena y las vende a $40 la docena. Construya una tabla de beneficios. ¿Qué decisión indica cada uno de los siguientes criterios de decisión?

a. Maximin
b. Maximax
c. Laplace
d. Rechazo minimax

SOLUCIÓN

La tabla de beneficios para este problema es:

	Demanda de rosas rojas		
Alternativa	**Baja (25 docenas)**	**Mediana (60 docenas)**	**Alta (130 docenas)**
Pedir 25 docenas	$625	$625	$625
Pedir 60 docenas	$100	$1,500	$1,500
Pedir 130 docenas	($950)	$450	$3,250
No hacer nada	$0	$0	$0

a. Según el criterio maximin, Weiss debe pedir 25 docenas, porque si la demanda es baja, sus utilidades serán de $625.
b. Según el criterio maximax, Weiss debe pedir 130 docenas. El mayor de los beneficios posibles, $3,250, está asociado con el pedido más grande.
c. Según el criterio de Laplace, Weiss debe pedir 60 docenas. Los beneficios igualmente ponderados de los pedidos de 25, 60 y 130 docenas son de alrededor de $625, $1,033 y $917, respectivamente.
d. De acuerdo con el criterio de rechazo minimax, Weiss debe pedir 130 docenas. El rechazo máximo del pedido de 25 docenas se presenta si la demanda es alta: $3,250 – $625 = $2,625. El rechazo máximo de un pedido de 60 docenas se presenta si la demanda es alta: $3,250 – $1,500 = $1,750. El rechazo máximo de un pedido de 130 docenas se presenta si la demanda es baja: $625 – (–$950) = $1,575.

PROBLEMA RESUELTO 4

White Valley Ski Resort está planeando la instalación de ascensores en su nuevo centro recreativo para esquiadores. La gerencia de la empresa está tratando de determinar si sería conveniente instalar uno o dos ascensores; cada uno puede transportar a 250 personas todos los días. Habitualmente, los esquiadores practican este deporte en un periodo de 14 semanas, comprendido entre diciembre y abril, durante el cual el ascensor funcionará los siete días de la semana. El primer ascensor funcionará a 90% de su capacidad si las condiciones económicas son adversas, y se cree que la probabilidad de que en efecto lo sean es de 0.3 aproximadamente. En tiempos normales, el primer ascensor se utilizará a 100% de su capacidad, y los usuarios excedentes proveerán 50% de la utilización del segundo ascensor. La probabilidad de que los tiempos sean normales es de 0.5. Finalmente, si los tiempos son realmente buenos, a lo cual corresponde una probabilidad de 0.2, la utilización del segundo ascensor aumentará a 90%. El costo anual equivalente a la instalación de un nuevo ascensor, reconociendo el valor del dinero en el tiempo y la vida económica del ascensor, es de $50,000. El costo anual de la instalación de dos ascensores es de sólo $90,000, si ambos se compran al mismo tiempo. Si se decide utilizarlos, la operación de cada ascensor costará $200,000, independientemente de cuán alta o baja sea su tasa de utilización. Los pasajes para el ascensor costarán $20 por cliente, por día.

¿Debe comprar uno o dos ascensores este centro recreativo?

SOLUCIÓN

El árbol de decisiones se presenta en la figura A.7. El beneficio ($000) que corresponde a cada una de las ramas de alternativa y acontecimiento se indica en la tabla siguiente. Los ingresos totales generados por un ascensor que funcionara a 100% de su capacidad serían de $490,000 (o sea, 250 clientes × 98 días × $20/cliente-día).

Alternativa	Condición económica	Cálculo de beneficios (Ingresos – Costo)
Un ascensor	Tiempos malos	0.9(490) − (50 + 200) = 191
	Tiempos normales	1.0(490) − (50 + 200) = 240
	Tiempos buenos	1.0(490) − (50 + 200) = 240
Dos ascensores	Tiempos malos	0.9(490) − (90 + 200) = 151
	Tiempos normales	1.5(490) − (90 + 400) = 245
	Tiempos buenos	1.9(490) − (90 + 400) = 441

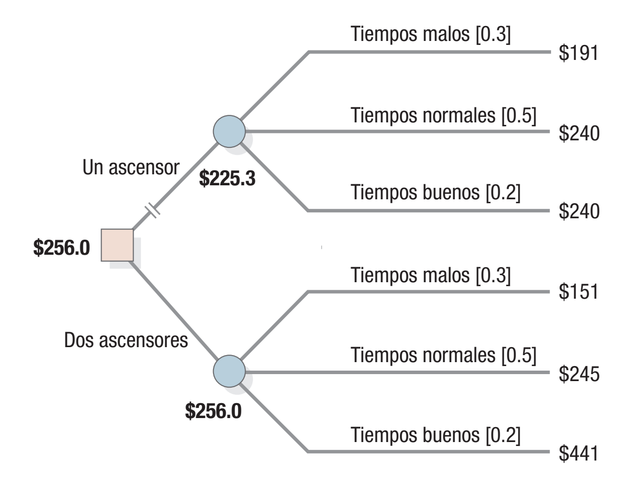


FIGURA A.7

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo a los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

1. Mary Williams, propietaria de Williams Products, está evaluando la posibilidad de introducir una nueva línea de productos. Después de estudiar proceso de producción y los costos de las materias primas y nuevo equipo, Williams ha estimado que los costos variables de cada unidad producida y vendida serían de $6, y que los costos fijos anuales serían de $60,000.
   - **a.** Si el precio de venta se estableciera en $18 por unidad, ¿cuántas unidades tendría que producir y vender Williams para alcanzar el punto de equilibrio? Use los métodos gráfico y algebraico para hallar la respuesta.
   - **b.** Williams pronostica ventas de 10,000 unidades en el primer año si el precio de venta se establece en $14.00 cada una. ¿Cuál sería la contribución total de este nuevo producto a las utilidades durante el primer año?
   - **c.** Williams pronostica que si el precio de venta se establece en $12.50, las ventas del primer año se incrementarían a 15,000 unidades. ¿Qué estrategia de precios ($l4.00 o $12.50) daría por resultado la mayor contribución total a las utilidades?
   - **d.** ¿Qué otras consideraciones serían cruciales para tomar la decisión final acerca de fabricar y comercializar el nuevo producto?
2. Un producto de Jennings Company se ha vendido en volúmenes razonables, pero su contribución a las utilidades ha sido decepcionante. El año pasado se produjeron y vendieron 17,500 unidades. El precio de venta es de $22 por unidad, c es $18 y F es $80,000.
   - **a.** ¿Cuál es la cantidad en la que este producto alcanza el punto de equilibrio? Use los métodos gráfico y algebraico para obtener la respuesta.
   - **b.** Jennings está considerando la forma de estimular los volúmenes de ventas o reducir los costos variables. La gerencia cree que podrá incrementar las ventas en 30% o que logrará reducir c a 85% de su nivel actual. ¿Qué alternativa producirá mayores contribuciones a las utilidades, suponiendo que la implementación de una u otra cuesta lo mismo? (*Sugerencia:* Calcule las utilidades que reportarían ambas alternativas y escoja la que produzca ganancias más altas).
   - **c.** ¿Cuál es el cambio porcentual de la contribución a las utilidades por unidad, generado por cada alternativa de la parte b?
3. Un servicio de televisión interactiva, cuya producción cuesta $10 al mes, puede venderse en la supercarretera de la información a $15 por cliente al mes. Si un área de servicio tiene un potencial de 15,000 clientes, ¿cuánto podría gastar una compañía como máximo en costos fijos anuales para adquirir y mantener el equipo necesario?
4. Un restaurante está estudiando la posibilidad de añadir trucha fresca de río a su menú. Los clientes podrían elegir entre pescar su propia trucha en un arroyo de montaña simulado, o simplemente pedir que el camarero saque la trucha con una red. Para operar el arroyo se necesitan $10,600 por concepto de costos fijos anuales. Los costos variables se estiman en $6.70 por trucha. La empresa desea alcanzar el punto de equilibrio con la venta de 800 comidas de trucha al año. ¿Cuál deberá ser el precio del nuevo plato?
5. Gabriel Manufacturing tiene que implementar un proceso manufacturero para reducir la cantidad de residuos tóxicos. Ha identificado dos procesos que producen el mismo nivel de reducción de dichos residuos. El primero implicaría incurrir en $300,000 en costos fijos y $600 por unidad en costos variables. El segundo tendría costos fijos de $120,000 y costos variables de $900 por unidad.
   - **a.** ¿Cuál es la cantidad de equilibrio, más allá de la cual el primer proceso resultaría más atractivo?
   - **b.** ¿Cuál sería la diferencia en términos de costo total si la cantidad producida fuera de 800 unidades?
6. Se está considerando la posibilidad de modernizar un servicio de envío de recortes de noticias. En lugar de recortar y fotocopiar manualmente los artículos de interés y enviárselos por correo a los clientes, los empleados introducen electrónicamente en una base de datos dichos artículos, tomados de las publicaciones de mayor circulación. En cada nueva edición se buscan ciertas palabras clave, como el nombre de la compañía de un cliente, los nombres de sus competidores, el tipo de empresa y los productos, servicios y funcionarios de la misma. Cada vez que se localiza cualquiera de esos datos, se notifica de inmediato a los clientes afectados por medio de una red en línea. Si el artículo resulta de interés, se transmite electrónicamente, de modo que el cliente a menudo recibe el texto antes que la publicación llegue a las calles, lo cual le da tiempo para preparar sus comentarios para las entrevistas de seguimiento. El proceso manual tiene costos fijos de $400,000 al año, y costos variables de $6.20 por cada recorte enviado por correo. El precio que se cobra al cliente es de $8.00 por recorte. El proceso computarizado tiene costos fijos de $1,300,000 al año y costos variables de $2.25 por artículo transmitido electrónicamente al cliente.
   - **a.** Si se cobra el mismo precio por ambos procesos, indique el volumen anual más allá del cual el proceso automatizado resulta más atractivo.
   - **b.** El volumen actual de operaciones actual es de 225,000 recortes al año. Pero muchos de los recortes que se envían con el procedimiento actual no resultan interesantes para el cliente o son copias de los mismos textos que aparecen en múltiples publicaciones. Los dirigentes del servicio de recorte de noticias creen que si el servicio mejorara y el precio se redujera a $4.00 por artículo, la modernización elevaría el volumen de operación a 900,000 artículos transmitidos al año. ¿Debe modernizarse el servicio de recortes?
   - **c.** Si el incremento pronosticado en las operaciones fuera demasiado optimista, ¿con qué volumen se alcanzaría el punto de equilibrio con el nuevo proceso?
7. Desde hace tiempo, Hahn Manufacturing compra a un proveedor local un componente clave de uno de sus productos. El precio de compra actual es de 1500 por unidad. Los esfuerzos para estandarizar diversas partes han tenido éxito, al grado de que el mismo componente puede utilizarse ahora en cinco productos diferentes. La utilización anual de ese componente debe aumentar de 150 a 750 unidades. La gerencia se pregunta si ha llegado el momento de fabricar el componente en la planta, en lugar de seguir comprándolo al proveedor. Los costos fijos se incrementarían en casi $40,000 al año a causa del nuevo equipo y herramientas requeridos. El costo de las materias primas y los gastos generales variables serían de $1100 por unidad aproximadamente, y los costos de mano de obra ascenderían a $300 por cada unidad producida.
   - **a.** ¿Le convendría a Hahn fabricar el componente en lugar de comprarlo?
   - **b.** ¿Cuál sería la cantidad con la que se alcanzaría el punto de equilibrio?
   - **c.** ¿Qué otras consideraciones podrían ser importantes?

8. Techno Corporation fabrica actualmente un artículo con costos variables de $5.00 por unidad. Los costos fijos anuales de fabricar este artículo son de $140,000. El precio de venta actual del artículo es de $10 por unidad; y el volumen de ventas anual es de 30,000 unidades.
   a. Techno podría mejorar sustancialmente la calidad del artículo mediante la instalación de nuevo equipo por un costo fijo anual adicional de $60,000. Los costos variables por unidad aumentaría en $1.00, pero, como sería posible vender en mayor cantidad el producto de mejor calidad, el volumen anual ascendería a 50,000 unidades. ¿Debe comprar Techno el nuevo equipo y mantener el precio actual del artículo? ¿Por qué sí o por qué no?
   b. Por otra parte, Techno podría incrementar el precio de venta a $11 por unidad. Sin embargo, el volumen anual de ventas quedaría limitado a 45,000 unidades. ¿Debe comprar Techno el nuevo equipo y aumentar el precio del artículo? ¿Por qué sí o por qué no?

9. Tri-County Generation and Transmission Association es una organización cooperativa sin fines de lucro, que provee servicio eléctrico a clientes rurales. Basado en un pronóstico deficiente de la demanda a largo plazo, Tri-County expandió demasiado su sistema de generación y distribución. Tri-County tiene ahora una capacidad mucho mayor que la que necesita para atender a sus clientes. Los costos fijos, principalmente por el servicio de la deuda para la inversión en planta y equipo, son de $82.5 millones al año. Los costos variables, sobre todo por concepto de costos de combustibles fósiles, son de $25 por megawatt-hora (MWh, esto es, los millones de watts de energía eléctrica que se usan en una hora). La nueva persona a cargo de las proyecciones de demanda preparó un pronóstico a corto plazo para utilizarlo como base en la elaboración del presupuesto del año próximo. En ese pronóstico se prevé que los clientes de Tri-County consumirán un millón de MWh de energía el año siguiente.
   a. ¿Cuánto tendrá que cobrar Tri-County a sus clientes por MWh para alcanzar el punto de equilibrio el año próximo?
   b. Los clientes de Tri-County protestan por ese precio y ahorran electricidad. Sólo 95% de la demanda pronosticada se concreta. ¿Cuál es ahora el excedente o la pérdida resultante para esta organización sin fines de lucro?

10. Terremotos, sequías, incendios, penurias económicas, inundaciones y una plaga de reporteros judiciales de televisión han provocado un éxodo de la ciudad de Los Ángeles hacia Boulder, Colorado. El súbito incremento de la demanda está agotando la capacidad del sistema eléctrico de Boulder. Las alternativas de esta ciudad se han reducido a comprar 150,000 MWh de energía eléctrica a Tri-County G&T al precio de $75 por MWh, o reacondicionar y rehabilitar la abandonada Central Eléctrica de Pearl Street, en el centro de Boulder. Los costos fijos de ese proyecto ascenderían a $10 millones al año y los costos variables serían de $35 por MWh. ¿Qué debe hacer Boulder, construir o comprar?

11. Tri-County G&T vende 150,000 MWh anuales de energía eléctrica a Boulder al precio de $75 por MWh, tiene costos fijos de $82.5 millones al año y costos variables de S25 por MWh. Si la demanda de los clientes de Tri-County es de 1,000,000 MWh (sin contar a Boulder), ¿cuánto tendrá que cobrar Tri-County para alcanzar el punto de equilibrio?

MATRIZ DE PREFERENCIAS

12. Forsite Company está examinando tres ideas para la creación de nuevos servicios. A causa de restricciones de recursos, sólo una de ellas podrá comercializarse por el momento. Se han elaborado las siguientes estimaciones para los cinco criterios de desempeño que, en opinión de la gerencia, son los más importantes.

	Calificación		
Criterio de desempeño	**Servicio A**	**Servicio B**	**Servicio C**
Inversión requerida en equipo de capital	0.6	0.8	0.3
Rendimiento esperado de la inversión (ROI)	0.7	0.3	0.9
Compatibilidad con las competencias actuales del personal	0.4	0.7	0.5
Ventaja competitiva	1.0	0.4	0.6
Compatibilidad con las disposiciones de la Agencia de Protección Ambiental	0.2	1.0	0.5

   a. Calcule un puntaje ponderado total para cada alternativa. Use una matriz de preferencias y suponga ponderaciones iguales para todos los criterios de desempeño. ¿Cuál es la mejor alternativa? ¿Y la peor?
   b. Suponga que al ROI esperado se le asigna el doble de ponderación que a cada uno de los demás criterios. (La suma de las ponderaciones debe permanecer igual que en la parte a). ¿Afectaría esta modificación el orden de clasificación de los tres posibles servicios?

13. Suponga que usted está a cargo de analizar cinco ideas de productos nuevos y ha recibido la información que se presenta en la tabla A.l (1 = peor, 10 = mejor). La gerencia ha decidido que los criterios 2 y 3 son igualmente importantes y que cada uno de los criterios 3 y 4 es cuatro veces más im-

TABLA A.1 Análisis de ideas de productos nuevos

	Calificación				
Criterio de desempeño	**Producto A**	**Producto B**	**Producto C**	**Producto D**	**Producto E**
Compatibilidad con la manufactura actual	8	7	3	6	9
Rendimiento esperado de la inversión (ROI)	3	8	4	7	7
Compatibilidad con las competencias actuales del personal	9	5	7	6	5
Margen de utilidad unitaria	7	6	9	2	7

portante que el criterio 2. Sólo dos productos nuevos podrán lanzarse al mercado, y un producto se introducirá sólo si su puntaje es superior a 70% del máximo total de puntos posibles. ¿Cuáles de esas ideas de productos recomendaría usted?

14. Accel Express, Inc., recopiló la siguiente información sobre dos posibles lugares para instalar un almacén (1 = malo, 10 = excelente).

Factor de localización	Ponderación del factor	Puntaje de la localización A	B
Costos de construcción	10	8	5
Servicios públicos disponibles	10	7	7
Servicios para empresas	10	4	7
Costo del inmueble	20	7	4
Calidad de vida	20	4	8
Transporte	30	7	6

a. ¿Qué localización, A o B, debe elegirse, considerando el puntaje ponderado total?
b. Si los factores tuvieran la misma ponderación, ¿cambiaría la opción seleccionada?

TEORÍA Y ÁRBOL DE DECISIONES

15. Build-Rite Construction recibió publicidad favorable con la aparición de varios invitados en un programa de mejoramiento del hogar en la televisión pública. Como las decisiones de programación de dicha televisión parecen imprevisibles, Build-Rite no puede estimar qué probabilidades tiene de seguir beneficiándose de su relación con ese programa. Si bien la demanda de productos para el mejoramiento del hogar puede ser alta o baja el año próximo, Build-Rite debe decidir ahora si va a contratar más empleados, si no va a hacer nada o si subcontratará una parte de sus negocios con otros contratistas dedicados al mejoramiento del hogar. Build-Rite ha elaborado la siguiente tabla de beneficios.

Alternativa	Demanda de mejoramiento del hogar Baja	Moderada	Alta
Contratar	($250,000)	$100,000	$625,000
Subcontratar	$100,000	$150,000	$415,000
No hacer nada	$ 50,000	$ 80,000	$300,000

¿Cuál de las alternativas es mejor de acuerdo con cada uno de los siguientes criterios de decisión?

a. Maximin
b. Maximax
c. Laplace
d. Rechazo minimax

16. Analice el árbol de decisiones ilustrado en la figura A.8. ¿Cuál es el beneficio esperado en la mejor alternativa? Asegúrese primero de encontrar, por inferencia, las probabilidades faltantes.

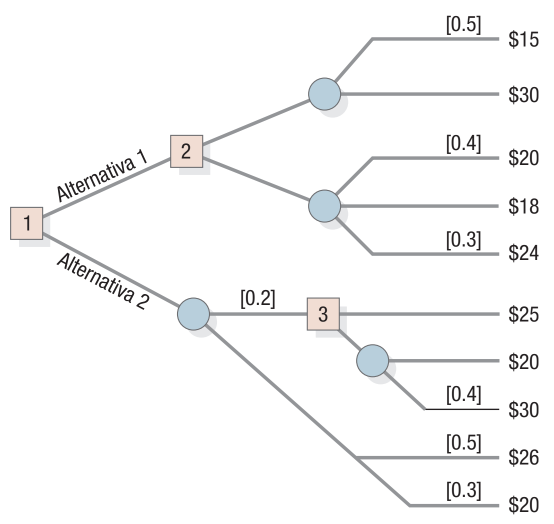


FIGURA A.8 |

17. Un gerente está tratando de decidir si debe comprar una máquina o dos. Si compra sólo una y la demanda resulta ser excesiva, podría adquirir después la segunda máquina. Sin embargo, perdería algunas ventas porque el tiempo que implica la fabricación de este tipo de máquinas es de seis meses. Además, el costo por máquina sería más bajo si comprara las dos al mismo tiempo. La probabilidad de que la demanda sea baja se ha estimado en 0.20. El valor presente neto, después de impuestos, de los beneficios derivados de comprar las dos máquinas a la vez es de $90,000 si la demanda es baja, y de $180,000 si la demanda es alta.

ISi se decide comprar una máquina y la demanda resulta ser baja, el valor presente neto sería de $120,000. Si la demanda es alta, el gerente tendrá tres opciones. La de no hacer nada tiene un valor presente neto de $120,000; la opción de subcontratar, $160,000; y la de comprar la segunda máquina, $140,000.

a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema.
b. ¿Cuántas máquinas debe comprar la compañía inicialmente? ¿Cuál es el beneficio esperado de esta alternativa?

18. Un gerente trata de decidir si debe construir una instalación pequeña, mediana o grande. La demanda puede ser baja, promedio o alta, con probabilidades estimadas de 0.25, 0.40 y 0.35, respectivamente.

Con una instalación pequeña se esperaría ganar un valor presente neto, después de impuestos, de sólo $18,000 si la demanda es baja. Si la demanda es promedio, se espera que la instalación pequeña gane $75,000; más adelante podría ampliarse a un tamaño promedio para que ganara un valor presente neto de $60,000. Si la demanda es alta, cabría esperar que la instalación pequeña ganara $75,000 y que después pudiera ampliarse a un tamaño promedio para ganar $60,000, o a un tamaño grande para ganar $125,000.

Con una instalación de tamaño mediano se esperaría una pérdida estimada en $25,000 si la demanda es baja, y una ganancia de $140,000 si la demanda es de magnitud promedio. Si la demanda es alta, cabría esperar que la instalación de tamaño mediano ganara un valor presente neto de $150,000; después podría ampliarse al tamaño grande para obtener un beneficio neto de $145,000.

Si se optara por construir una instalación grande y la demanda resultara ser alta, se esperaría que las ganancias

ascendieran a $220,000. Si la demanda resultara ser de magnitud promedio para la instalación grande, se esperaría que el valor presente neto fuera igual a $125,000; si la demanda fuera baja, cabría esperar que la instalación perdiera $60,000.

a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema.
b. ¿Qué debe hacer la gerencia para obtener el beneficio esperado más alto?

19. Una planta manufacturera ha alcanzado su plena capacidad. Ahora, la compañía tiene que construir una segunda planta, ya sea pequeña o grande, en un lugar cercano. La demanda futura podría ser alta o baja. La probabilidad de que sea baja es de 0.3. Si la demanda es baja, la planta grande tiene un valor presente de $5 millones y la plañía pequeña, de $8 millones. Si la demanda es alta, a la planta grande corresponde un valor presente de $18 millones y a la planta pequeña, un valor presente de sólo $10 millones. Sin embargo, la planta pequeña puede ampliarse después en caso de que la demanda resulte ser alta, para alcanzar un valor presente de $14 millones.

a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema.
b. ¿Qué debe hacer la gerencia para obtener el beneficio esperado más alto?

20. Benjamin Moses, jefe de ingenieros de Offshore Chemicals, Inc., tiene que decidir sobre la conveniencia de construir una nueva planta de procesamiento basada en una tecnología experimental. Si la nueva planta funciona bien, la compañía obtendrá una utilidad neta de $20 millones. Si la nueva planta fracasa, la compañía perderá $10 millones. Benjamin calcula que la probabilidad de que la nueva planta funcione satisfactoriamente es de 40%.

¿Qué decisión debe tomar Benjamin Moses?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonini, Charles P., Warren H. Hausman y Harold Bierman, Jr., *Quantitative Analysis for Management*, Burr Ridge Parkway, IL, Irwin/McGraw-Hill, 1996.

Clemen, Robert T., *Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis,* Boston, PWS-Kent, 1991.

2

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir una estrategia de operaciones.
2. Identificar las nueve prioridades competitivas que se emplean en las estrategias de operaciones.
3. Mencionar los pasos del proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos.
4. Describir la función de la estrategia de operaciones como origen de fortaleza competitiva en el mercado global.
5. Explicar cómo se vincula la estrategia de marketing con la de operaciones por medio de las prioridades competitivas.
6. Explicar cómo se usa un patrón de decisiones sobre los procesos y las cadenas de valor para desarrollar las capacidades necesarias para realizar las prioridades competitivas.



La cafetería Starbucks en Pike Place Market, Seattle. El éxito mundial de Starbucks se basa en su estrategia de servicio, que transformó la venta de un producto común y corriente como el café en un accesorio de consumo de lujo. En sus establecimientos se puede comprar también sándwiches, postres, discos compactos e incluso café envasado para una ocasión especial.

CAPÍTULO 2

Estrategia de operaciones

STARBUCKS

¿Quiere ir a tomar un café? ¿Dice que le gustaría algo especial, como un espresso o un capuchino? Entonces, tal vez deberíamos ir a Starbucks, como hacen millones de otras personas. ¿Quién hubiera pensado que alguien podría convertir un producto común y corriente como el café en un accesorio de consumo de lujo? El empresario Howard Schultz lo logró, hace 15 años, cuando compró la cadena de 17 establecimientos en Seattle y la transformó en un éxito mundial. En 2005, la cadena tenía 9,571 establecimientos en 28 países. El crecimiento promedio de las utilidades alcanzó un fenomenal 30% anual. Al parecer, aquí sucede algo especial.

¿Cuál es el secreto de este desempeño extraordinario? En gran medida, tiene que ver con la estrategia de servicio de Starbucks. Considere lo que recibe cuando compra en Starbucks. Desde luego, puede elegir entre una variedad de cafés exóticos, latte, capuchino o espresso. También puede comprar un sándwich, un postre, un disco compacto de su artista pop favorito e incluso café envasado para una ocasión especial. Para acelerar el servicio, puede optar por usar una máquina automática de café espresso o una tarjeta prepagada de Starbucks. En algunos establecimientos, quizá quiera usar Starbucks Express, que se basa en tecnología Web para ofrecer un servicio más rápido. Los clientes piden y pagan las bebidas y pasteles por teléfono o en el sitio Web de Starbucks, y el pedido estará listo para que pasen a recogerlo. En alrededor de 1,200 establecimientos en América del Norte y Europa, los clientes pueden navegar en Internet mientras disfrutan de su café java. También se disfruta de un ambiente refinado o "en la onda" (como dirían algunos clientes) que es propicio para conversar o socializar, así como del servicio amigable de todo un equipo de baristas.

La estrategia de Starbucks va más allá de los servicios y productos propiamente dichos que ofrece a sus clientes. A la compañía le gusta agrupar las cafeterías en un buen mercado para aumentar los ingresos totales y la participación de mercado porque es más barato administrar



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

establecimientos situados unos cerca de otros. Por ejemplo, hay una cafetería Starbucks por cada 9,400 personas en Seattle. En los 62 kilómetros cuadrados de Manhattan hay 124 establecimientos de Starbucks, o alrededor de uno por cada 12,000 personas. Starbucks es capaz de diseñar e inaugurar una cafetería nueva en 16 semanas o menos y recuperar la inversión inicial en tres años.

Aun cuando el modelo de negocios de Starbucks ha sido muy exitoso, la empresa enfrenta una serie de desafíos. Por ejemplo, para mantener su crecimiento en un mercado nacional saturado, Starbucks debe incursionar en mercados internacionales. La expansión global plantea riesgos, de los cuales la rentabilidad más baja por establecimiento no es el menor. La operación de la mayor parte de las cafeterías internacionales está a cargo de socios, por lo que se reduce la parte que corresponde a Starbucks.

Además, el perfil de los clientes está cambiando. El éxito de la cadena se fundó en buena medida en la generación de la posguerra. A la nueva generación de posibles clientes más jóvenes le disgusta el poder y la imagen de la marca Starbucks y detesta la imagen de la gente mundana bebiendo café latté y oyendo música de rock suave que se transmite desde un lugar remoto. Las tazas de café que cuestan tres dólares no les resultan atractivas, y se sienten indeseables en las cafeterías de Starbucks, donde las únicas personas que son iguales a ellos se encuentran detrás del mostrador. El modelo de negocios también depende de emplear a muchos trabajadores que perciben salarios bajos. Mantenerlos contentos es una de las claves de la entrega exitosa de los servicios que se proporcionan en los establecimientos de Starbucks, un reto considerable en un entorno en el que tradicionalmente abundan los malos salarios y los horarios extenuantes.

Muchas de las innovaciones que Starbucks está aplicando en establecimientos seleccionados tienen el propósito de atraer a esta nueva generación de clientes. Las empresas prósperas tienen que evaluar constantemente sus estrategias y actualizar los bienes y servicios que ofrecen para reflejar los cambios en las características demográficas y los deseos de los clientes.

Fuente: Stanley Holmes, "Planet Starbucks," *Business Week* (9 de septiembre de 2002), pp. 100–110; www.starbucks.com, 2004.

El asombroso crecimiento de Starbucks es un ejemplo de una estrategia de operaciones impulsada por el cliente en acción. Sus procesos centrales se concentran en las actividades cruciales, que van desde la adquisición de granos de café selectos hasta la entrega de una variedad de bienes y servicios para deleitar a los clientes. Los retos administrativos abundan, ya que los clientes desean cambios, lo que exige que los gerentes reexaminen la estrategia que históricamente los ha llevado al éxito y rediseñen los procesos que sustentarán el nuevo rumbo.

Estrategia de operaciones

Medio por el cual el área de operaciones implementa la estrategia corporativa y contribuye a crear una compañía impulsada por el cliente.

Este capítulo se centra en la **estrategia de operaciones,** que especifica cómo el área de operaciones implementa la estrategia corporativa y contribuye a crear una empresa impulsada por el cliente. La estrategia de operaciones vincula las decisiones de operaciones, a corto y largo plazo, con la estrategia corporativa y desarrolla las capacidades que la empresa necesita para ser competitiva. Como veremos a lo largo del texto, es la parte medular de la administración de los procesos y cadenas de valor. Los procesos internos de una empresa son sólo los componentes básicos: es necesario organizarlos para que finalmente sean eficaces en un entorno competitivo. La estrategia de operaciones es el eje alrededor del cual giran estos procesos para formar cadenas de valor que se extienden más allá de los muros de la empresa y abarcan a proveedores y a clientes.

Ninguna empresa entiende el valor de la estrategia de operaciones mejor que Dell, Inc. A medida que la computadora personal (PC) se volvió prácticamente un producto básico, Dell comprendió que los clientes querían un producto confiable y barato que pudiera entregarse en plazos más breves. ¿Cómo se pueden realizar entregas rápidas sin generar montañas de inventarios a la espera de que llegue el siguiente pedido? Si se tienen inventarios grandes, ¿cómo pueden mantenerse los costos bajos? La respuesta de Dell fue recrear sus procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores para convertirlos en una cadena de valor integrada y ágil.

En la planta de Dell en Nashville, los pedidos electrónicos van directamente a los robots de la línea de ensamblaje, que buscan todas las partes para crear una PC armada a la medida de las necesidades del cliente. El sistema carga automáticamente el software en los discos duros y prueba los equipos antes de que otro grupo de robots los empaque para enviarlos. Tal hazaña no podría haberse logrado sin rediseñar el proceso de relaciones con los clientes (en particular, el subproceso de entrada de pedidos) y el proceso de relaciones con los proveedores (en específico, los procesos

logísticos que permiten la coordinación estrecha entre las remesas entrantes de componentes y las entregas salientes para los clientes. Los precios, paquetes promocionales, características de los productos y otras cosas por el estilo pueden proporcionar una ventaja a corto plazo a una empresa, pero las operaciones de ésta son las que producen la ventaja a largo plazo porque son difíciles de copiar, como bien saben Dell y Starbucks.

ESTRATEGIA DE OPERACIONES EN LA ORGANIZACIÓN

Para poner en práctica la estrategia de operaciones, debe existir una interacción continua entre las distintas funciones. Por ejemplo, un gerente de operaciones de Starbucks necesita recibir información de Marketing para determinar cuánta capacidad deberá planear para un nuevo establecimiento, y también tiene que trabajar con Finanzas en lo que se refiere a los plazos y fondos para abrir el nuevo establecimiento. Así, al identificar las capacidades de operación necesarias para el futuro, los gerentes de operaciones tienen que trabajar en estrecha colaboración con los gerentes de otras áreas funcionales.

La estrategia corporativa considera a la organización como un sistema de partes interconectadas, o áreas funcionales, cada una trabajando en armonía con las demás para alcanzar las metas deseadas. La estrategia de operaciones, que sustenta a la estrategia corporativa, también exige una conexión estrecha entre las áreas funcionales. Una de las áreas clave es la de *sistemas de información para la gerencia,* que diseña los sistemas que proporcionan datos del mercado e información sobre la competencia en el entorno global. La estrategia de operaciones especifica la estrategia general de servicios o manufactura y comprende un patrón de decisiones que afectan los procesos, sistemas y procedimientos de la empresa. En consecuencia, cuando Marketing desea agregar un nuevo servicio o producto, debe coordinarse con Operaciones para garantizar que la empresa tenga la capacidad necesaria para respaldar dicho empeño. Agregar nuevos servicios o productos sin tener la capacidad para producirlos puede resultar en un desempeño deficiente.

A menudo se requieren nuevas inversiones para financiar nuevos esfuerzos o mejorar las operaciones existentes. Una estrategia de operaciones que requiere inversiones en nuevo equipo y otro tipo de apoyo financiero para mejoras debe coordinarse con Finanzas. Además, a Finanzas le interesa la estrategia de operaciones porque afecta la capacidad de la empresa para generar ingresos y contribuir al desempeño de la compañía.

Invariablemente, la estrategia de operaciones implica el diseño de nuevos procesos o el rediseño de los que ya existen. Ingeniería trabaja con Operaciones para llegar a los diseños que cumplen las prioridades competitivas correspondientes. Ingeniería también participa activamente en el diseño de nuevos servicios y productos y debe hacerlo a la luz de la capacidad de la empresa para producirlos.

DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA DE OPERACIÓN IMPULSADA POR EL CLIENTE

La formulación de una estrategia de operaciones impulsada por el cliente comienza con la *estrategia corporativa,* que coordina las metas generales de la empresa con los procesos centrales (figura 2.1). Determina los mercados que la empresa atenderá y cómo reaccionará ante los cambios en el entorno. Proporciona los recursos para desarrollar las competencias y procesos centrales de la empresa, e identifica la estrategia que ésta pondrá en práctica en los mercados internacionales. Con base en la estrategia corporativa, el *análisis de mercado* clasifica a los clientes de la empresa, identifica sus necesidades y evalúa las fortalezas de los competidores. Esta información se utiliza para establecer las *prioridades competitivas.* Dichas prioridades ayudan a los gerentes a desarrollar los servicios o productos y los procesos necesarios para ser competitivos en el mercado. Las prioridades competitivas son importantes para el diseño de nuevos servicios o productos, los procesos que se usarán para crearlos y la estrategia de operaciones que desarrollará las capacidades de la empresa para producirlos. La formulación de la estrategia de operaciones de una empresa es un proceso continuo porque las capacidades de la empresa para cumplir las prioridades competitivas deben revisarse periódicamente y si existe alguna falla en el desempeño, ésta debe resolverse en la estrategia de operaciones. Hablaremos del análisis de mercado y las prioridades competitivas con mayor detalle, más adelante en este mismo capítulo.

ESTRATEGIA CORPORATIVA

La estrategia corporativa marca la dirección general que servirá como marco de referencia para la realización de las funciones de la organización. Especifica el o los negocios a los que se dedicará la compañía, aísla las nuevas oportunidades y amenazas en el entorno e identifica los objetivos de crecimiento.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

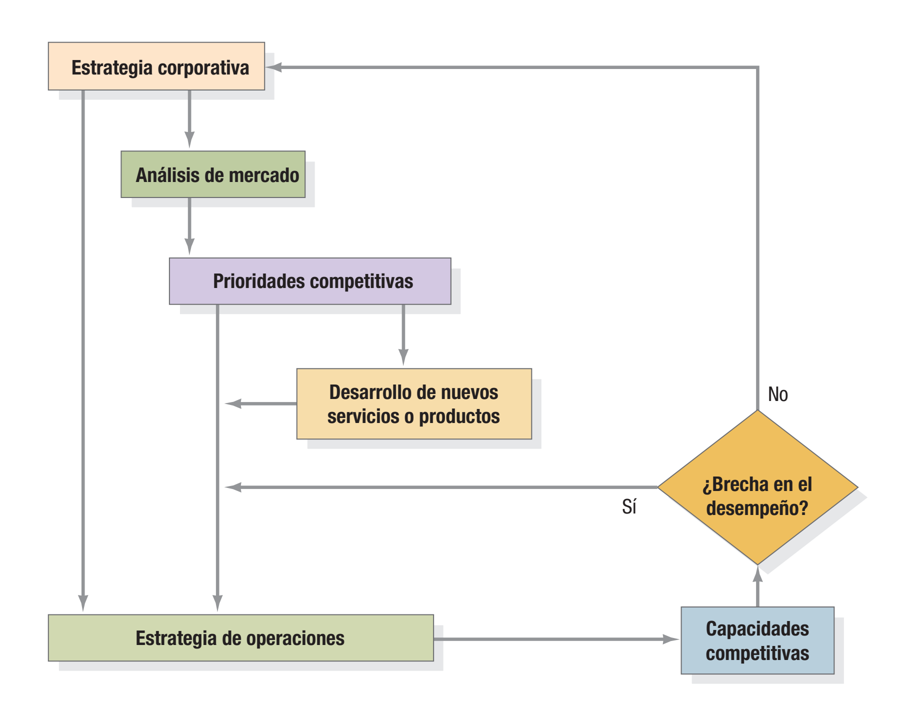
Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Rendimiento y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas racionalizados

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de la cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

FIGURA 2.1

Prioridades competitivas: el vínculo entre la estrategia corporativa y la estrategia de operaciones



La definición de la estrategia corporativa implica tres consideraciones: (1) vigilar los cambios en el entorno de negocios y adaptarse a ellos; (2) identificar y desarrollar las competencias centrales de la empresa, y (3) desarrollar los procesos centrales de la empresa.

Exploración ambiental El entorno externo de negocios en el que compite una empresa cambia continuamente y es preciso que la organización se adapte a esos cambios. La adaptación empieza con una *exploración ambiental,* el proceso mediante el cual los gerentes observan las tendencias dentro del entorno (es decir, la industria, el mercado y la sociedad) para detectar posibles oportunidades o amenazas. Una razón crucial por la que se realiza la exploración ambiental es anticiparse a la competencia. Los competidores pueden ganar ventaja si amplían sus líneas de servicios o productos, mejoran la calidad o reducen sus costos. Los nuevos participantes en el mercado o los competidores que ofrecen sustitutos del servicio o producto de una empresa pueden amenazar la rentabilidad sostenida. Otras preocupaciones importantes son las tendencias económicas, los cambios tecnológicos, las condiciones políticas, los cambios sociales (como las actitudes hacia el trabajo), y la disponibilidad de los recursos vitales. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles reconocen que las menguadas reservas de petróleo a la larga ocasionarán que sus automóviles utilicen otros tipos de combustible. En consecuencia, han diseñado prototipos de automóviles que usan hidrógeno o energía eléctrica como suplementos de la gasolina como combustible.

Competencias centrales Por sí sola, la buena administración no es capaz de superar los cambios en el entorno. Las empresas prosperan cuando aprovechan todo aquello que pueden hacer especialmente bien; es decir, las fortalezas peculiares de la organización. Las **competencias centrales** son los recursos y las fortalezas peculiares de una organización que la gerencia toma en consideración para formular la estrategia; reflejan el aprendizaje colectivo de la organización, en especial la forma de coordinar los procesos e integrar las tecnologías. Entre ellas figuran las siguientes:

Competencias centrales

Los recursos y las fortalezas peculiares de una organización que la gerencia toma en consideración para formular la estrategia.

1. *Fuerza de trabajo.* Una fuerza de trabajo bien capacitada y flexible permite a las organizaciones responder a las necesidades del mercado de manera oportuna. Esta competencia es particularmente importante en las organizaciones de servicio en las que el cliente entra en contacto directo con los empleados.
2. *Instalaciones.* Contar con instalaciones bien situadas (oficinas, tiendas y plantas) es una ventaja de primer orden en virtud del largo tiempo de espera que implica la construcción de nuevas instalaciones. Además, las instalaciones flexibles que pueden manejar una variedad de servicios o productos en diferentes volúmenes constituyen una ventaja competitiva.
3. *Pericia financiera y de mercado.* Una organización que puede atraer fácilmente capital mediante la venta de acciones, comercializar y distribuir sus servicios o productos o diferenciarlos de otros servicios o productos similares en el mercado tiene una ventaja competitiva.
4. *Sistemas y tecnología.* Las organizaciones expertas en sistemas de información tendrán una ventaja en industrias que utilizan los datos de forma intensiva, como la banca. La pericia en tecnologías y aplicaciones de Internet resulta especialmente ventajosa. Tener las patentes de una nueva tecnología también constituye una gran ventaja.

Procesos centrales Las competencias centrales de una empresa deben determinar los procesos centrales. En el capítulo 1 se habló de cuatro procesos centrales: relaciones con los clientes, desarrollo de nuevos servicios o productos, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores. Muchas compañías tienen los cuatro procesos. Sin embargo, muchas otras se centran en un subconjunto de éstos que corresponde mejor a sus competencias centrales. Por ejemplo, en la industria de los diarios, los cuatro procesos estuvieron perfectamente integrados en alguna época.

Típicamente, un periódico atraía a sus propios clientes, tanto lectores como anunciantes (relaciones con los clientes). Desarrollaba la mayor parte de su producto: los artículos que publicaba en sus páginas (desarrollo de nuevos servicios o productos). También administraba sus procesos de producción, entrega y adquisición de suministros (surtido de pedidos y relaciones con los proveedores). A muchas empresas editoriales les resultó difícil manejar bien los cuatro procesos para seguir siendo competitivas. En la actualidad, buena parte del producto típico de un periódico se subcontrata con servicios cablegráficos, columnistas que publican en diversos periódicos a la vez y editores de revistas especializadas. Además, muchos periódicos se han deshecho del proceso de surtido de pedidos, dejando los procesos de impresión y entrega, que son intensivos en capital, a los impresores especializados. Todo esta subcontratación permite a los periódicos centrarse en el proceso de relaciones con los clientes (coadyuvando a conectar a lectores con anunciantes), y una parte del proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos (la edición diaria del periódico y la redacción de artículos de interés local).

Existe una situación similar en la industria bancaria, en particular en el negocio de las tarjetas de crédito. Hay compañías que se especializan en buscar clientes y mantener las relaciones con ellos. Por ejemplo, el programa de tarjeta de crédito de American Airlines se comunica y logra una afinidad especial con los clientes por medio de su base de datos de marketing. Las compañías de tarjetas de crédito especializadas, como CapitalOne, se centran en la innovación en el servicio y crean nuevas características y programas de precios. Por último, muchas compañías se están haciendo cargo del proceso de surtido de pedidos y administran el procesamiento de las transacciones con tarjeta de crédito y los centros de atención telefónica. El punto importante es que cada empresa debe evaluar sus competencias centrales y decidir enfocarse en aquellos procesos que le reportan la mayor fortaleza competitiva.

ESTRATEGIAS GLOBALES

Para identificar las oportunidades y amenazas, en la actualidad se requiere una perspectiva mundial. Una estrategia global puede incluir comprar partes o servicios en el exterior, combatir las amenazas que plantean los competidores extranjeros o planear la forma de incursionar en mercados más allá de las fronteras nacionales tradicionales. Aunque es necesario estar en guardia ante las amenazas de la competencia mundial, las empresas también deben tratar activamente de penetrar en los mercados extranjeros. Dos estrategias globales eficaces son las alianzas estratégicas y la instalación de centros de operaciones en el extranjero.

Alianzas estratégicas Una de las opciones de que dispone una empresa para abrir mercados extranjeros es crear una *alianza estratégica.* Una alianza estratégica es un acuerdo con otra empresa, que adopta una de tres formas. Una forma de alianza estratégica es el *esfuerzo de colaboración,* que surge a menudo cuando una empresa tiene competencias centrales que otra necesita, pero que no desea (o no puede) duplicar. Estos convenios surgen comúnmente de las relaciones entre compradores y proveedores.

Otra forma de alianza estratégica es la sociedad de participación conjunta o *joint venture,* en la que dos empresas se comprometen a producir conjuntamente un servicio o producto. Las empresas recurren a menudo a este recurso para obtener acceso a los mercados extranjeros. Por ejemplo, para introducirse en el enorme mercado chino, GM y VW crearon, cada una, sociedades de participación con Shanghai Automotive Industry Corp., o SAIC.[1] El socio chino es un importante fabricante de automóviles que produce más de 600,000 vehículos con GM y VW.

Finalmente, las *licencias de tecnología* son una forma de alianza estratégica en la que una compañía autoriza a otra para que utilice sus métodos de servicio o producción. Las licencias pueden servir para obtener acceso a mercados extranjeros.

Localización en el extranjero Otra forma de introducirse en los mercados globales consiste en instalar un centro de operaciones en un país extranjero. Sin embargo, los gerentes deben reconocer que lo que funciona bien en su propio país tal vez no resulte tan eficaz en otros lugares. El entorno económico y político o las necesidades de los clientes pueden ser muy diferentes. Por ejemplo, McDonald's es famosa por la uniformidad de sus productos: una hamburguesa Big Mac tiene el mismo sabor en cualquier parte del mundo. En contraste, Jollibee Foods Corporation, una cadena de propiedad familiar, se ha convertido en la cadena dominante de comida rápida en Filipinas.

[1]Alex Taylor, "Shanghai Auto Wants to Be the World's Next Great Car Company", *Fortune,* 4 de octubre de 2004, pp. 103-110.

Jollibee sabe complacer las preferencias locales por los sabores dulces y condimentados, y los incorpora a su pollo frito, espagueti y hamburguesas. La mayor cualidad de Jollibee es su conocimiento de los gustos locales, y asegura que sus hamburguesas son similares a las que los filipinos acostumbran preparar en casa. La respuesta de McDonald's consistió en presentar su propia hamburguesa condimentada al estilo filipino, pero la competencia es ardua. La experiencia de McDonald's demuestra que, para tener éxito, las estrategias corporativas deben reconocer las costumbres, preferencias y condiciones económicas de los otros países.

Establecerse en el extranjero es una decisión clave en el diseño de las cadenas de valor porque afecta el flujo de materiales, información y empleados que apoyan los procesos centrales de la empresa. Véanse los capítulos 10, "Estrategia de cadena de suministro", y en el capítulo 11, "Localización", en los que se analizan a fondo estas otras implicaciones.

ANÁLISIS DE MERCADO

Una de las claves del éxito al formular una estrategia de operaciones centrada en el cliente, tanto para las empresas manufactureras como para las de servicios, es comprender lo que el cliente quiere y cómo proporcionárselo. En el *análisis de mercado,* primero se divide la clientela de la empresa en segmentos de mercado y después se identifican las necesidades de cada segmento. En esta sección se examinará el proceso del análisis de mercado y se definirán y explicarán los conceptos de segmentación del mercado y evaluación de las necesidades.

Segmentación del mercado La *segmentación del mercado* es el proceso de identificar grupos de clientes con suficientes rasgos en común para justificar el diseño y suministro de los servicios o productos que el grupo desea y necesita. Para identificar los segmentos del mercado, el analista debe determinar las características que diferencian claramente cada segmento. Después, la compañía puede crear un programa de marketing sólido y una estrategia de operaciones eficaz para respaldarlo. Por ejemplo, The Gap, Inc., el importante proveedor de ropa informal, tiene como mercado objetivo a los adolescentes y adultos jóvenes, y para sus tiendas GapKids, los padres o tutores de niños hasta de 12 años de edad. En alguna época, los gerentes imaginaban a los clientes como un mercado masivo homogéneo. En la actualidad, entienden que dos clientes pueden usar el mismo producto por diferentes razones. La identificación de los factores fundamentales en cada segmento del mercado es el punto de partida para formular una estrategia de operaciones centrada en el cliente.

Evaluación de las necesidades El segundo paso en el análisis de mercado consiste en hacer una *evaluación de las necesidades,* en la que se identifican las necesidades de cada segmento y se evalúa cómo los competidores las están satisfaciendo. Las necesidades de cada segmento del mercado pueden relacionarse con el servicio o producto y la cadena de valor. Las necesidades del mercado, que deben incluir tanto los atributos tangibles como los intangibles del producto o servicio y las características que el cliente desea, se agrupan como sigue:

- *Necesidades referentes al servicio o producto.* Atributos del servicio o producto, como precio, calidad y grado de personalización.
- *Necesidades referentes al sistema de entrega.* Atributos de los procesos y los sistemas de soporte, así como de los recursos necesarios para entregar el servicio o producto, como disponibilidad, comodidad, cortesía, seguridad, precisión, formalidad, rapidez en la entrega y fiabilidad de la misma.
- *Necesidades de volumen.* Atributos de la demanda del servicio o producto, como volumen alto o bajo, grado de variabilidad del volumen y grado en que éste puede preverse.
- *Otras necesidades.* Otros atributos, como buena reputación y número de años en el negocio, asistencia técnica después de la venta, capacidad para invertir en los mercados financieros internacionales y servicios jurídicos competentes.

Después de realizar esta evaluación, la empresa puede incorporar las necesidades de los clientes en el diseño del servicio o producto y en la cadena de valor que habrá de entregarlo. Estas necesidades del mercado se tratarán con mayor detalle cuando exploremos el desarrollo de nuevos servicios o productos.

> PRIORIDADES Y CAPACIDADES COMPETITIVAS <

Una estrategia de operaciones centrada en el cliente requiere un esfuerzo interfuncional de todas las áreas de la empresa para entender las necesidades de los clientes externos y especificar las capacidades de operación que la empresa necesita para superar a sus competidores. Dicha estrategia también debe ocuparse de las necesidades de los clientes internos porque el desempeño general de la empresa depende del desempeño de sus procesos centrales y de apoyo. Las **prioridades competitivas** son las dimensiones operativas cruciales que un proceso o cadena de valor debe poseer para satisfacer a los clientes internos o externos, tanto en el presente como en el futuro.

Prioridades competitivas

Son las dimensiones operativas cruciales que un proceso o cadena de valor deben poseer para satisfacer a los clientes internos o externos, tanto en el presente como en el futuro.

Nos centraremos en nueve dimensiones competitivas generales, que se clasifican en cuatro grupos:

Costo	1. Operaciones de bajo costo
Calidad	2. Calidad superior
	3. Calidad consistente
Tiempo	4. Velocidad de entrega
	5. Entrega a tiempo
	6. Velocidad de desarrollo
Flexibilidad	7. Personalización
	8. Variedad
	9. Flexibilidad del volumen

Las prioridades competitivas se planifican para los procesos y la cadena de valor que los creó. Son capacidades que deben estar presentes para mantener o crear la participación de mercado o permitir que otros procesos internos tengan éxito. No todas estas nueve dimensiones son cruciales para un proceso determinado; la gerencia selecciona las que son más importantes. Las **capacidades competitivas** son las dimensiones de costo, calidad, tiempo y flexibilidad que un proceso o cadena de valor posee y puede ofrecer en realidad. Cuando la capacidad no está a la altura de la prioridad que se le ha asignado, la gerencia debe encontrar la forma de cerrar la brecha, o si no, revisar la prioridad. Se hablará un poco más sobre el tema de cómo cerrar la brecha más adelante en este mismo capítulo.

capacidades competitivas
Son las dimensiones de costo, calidad, tiempo y flexibilidad que un proceso o cadena de valor posee y puede ofrecer en realidad.

Una empresa se compone de muchos procesos que deben coordinarse como una cadena de valor para ofrecer un resultado global deseable para el cliente externo. Para vincularlos a la estrategia corporativa, la gerencia asigna las prioridades competitivas seleccionadas a cada proceso (y la cadena de valor creada a partir de éstos), que responden a las necesidades de los clientes externos e internos. Así, la gerencia comunica el nivel de importancia que atribuye a ciertas capacidades para cada cadena de valor o proceso.

COSTO

El hecho de bajar los precios puede incrementar la demanda de servicios o productos, pero también reduce los márgenes de utilidad si el producto o servicio no puede producirse a un costo menor. Las **operaciones de bajo costo** entregan un servicio o producen un bien al menor costo posible y a la satisfacción de los clientes externos o internos del proceso o cadena de valor. Para reducir los costos, los procesos deben diseñarse y operarse de modo que sean eficientes, usando un riguroso análisis de los procesos que toma en consideración la fuerza de trabajo, métodos, desperdicio o reelaboración, gastos generales y otros factores para reducir el costo unitario del servicio o producto. Con frecuencia, para reducir los costos se necesita un proceso completamente nuevo, que puede requerir inversión en nuevas instalaciones automatizadas o tecnología. En la Práctica administrativa 2.1 se muestra cómo Costco aplica la prioridad de operaciones de bajo costo (junto con otras prioridades competitivas) para conseguir una ventaja estratégica.

operaciones de bajo costo
Entregar un servicio o producir un bien al menor costo posible y a la satisfacción de los clientes externos o internos del proceso o cadena de valor.

CALIDAD

La calidad es una dimensión de un servicio o producto que el cliente define. Dos prioridades competitivas importantes se refieren a la calidad: calidad superior y calidad consistente.

Calidad superior Por **calidad superior** se entiende entregar un servicio o producto sobresaliente. Esta prioridad puede requerir un alto nivel de contacto con el cliente, y altos niveles de actitud de servicio, cortesía y disponibilidad de los empleados en un proceso de servicio. Además, puede requerir características superiores del producto, muy poca tolerancia y mayor durabilidad en un proceso manufacturero. Los procesos que producen calidad superior necesitan diseñarse de acuerdo con especificaciones más exigentes. Por ejemplo, tanto el Club Med como un motel modesto ofrecen habitación, cama y baño a sus huéspedes. Sin embargo, los procesos en el Club Med (esos centros vacacionales que incluyen todo y tienen procesos de entretenimiento, restaurantes, recreación y hotelería) tienen requisitos mucho más estrictos de servicio al cliente que un motel sin atractivos adicionales. Ferrari e Isuzu producen automóviles que transportan al usuario de un lugar a otro; sin embargo, la diferencia entre los vehículos es impresionante. ¿Alguien se atrevería a debatir la aseveración de que los procesos de Ferrari tienen que producir características superiores del producto y enfrentar requisitos más exigentes?

calidad superior
Entregar un servicio o producto sobresaliente.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 2.1 USO DE LAS OPERACIONES PARA OBTENER UTILIDADES EN COSTCO

¿Busca gangas en artículos que varían entre sandías y pianos de media cola? Una compañía que satisface esas necesidades es Costco, un club de venta al mayoreo con 446 tiendas que generan 47,000 millones de dólares en ingresos anuales. Su competidor más cercano es Sam's Club de Wal-Mart, cuyas más de 170 tiendas generan 13,000 millones de dólares menos en ingresos anuales. Los clientes particulares y comerciales pagan a Costco entre 45 y 100 dólares al año por la membresía y el privilegio de comprar artículos básicos en grandes cantidades, así como otros artículos selectos con descuentos considerables.

¿Por qué Costco tiene tanto éxito? Para relacionar las necesidades de sus clientes con sus operaciones, formula una estrategia de operaciones que sustenta el concepto de venta al detalle (menudeo). Las prioridades competitivas de Costco son: operaciones de bajo costo, calidad y flexibilidad. Una visita a una tienda de Costco demuestra cómo se manifiestan estas prioridades competitivas.

Operaciones de bajo costo

Los precios bajos de Costco son posibles porque los procesos se diseñan para ser eficientes. La tienda es en realidad un almacén. Los productos están apilados en tarimas y hay pocos letreros. Los nuevos productos sustituyen con facilidad a los anteriores. Además, los gerentes de Costco negocian los precios con mano dura con los proveedores porque compran cantidades muy grandes. Se espera que los proveedores cambien las corridas de fábrica para producir empaques especialmente construidos más grandes, pero más baratos por unidad. Los márgenes de utilidad de Costco son bajos, pero las utilidades anuales son altas por el volumen que manejan.

Calidad

Los clientes no buscan atención, sino alto valor. Además de precios bajos, Costco respalda todo lo que vende con una garantía de devolución para cualquier cosa y en cualquier momento. Los clientes confían en Costco, que genera un índice de renovación de membresías de 86%, el más alto de la industria. Para apoyar la necesidad de ofrecer un gran valor, las operaciones deben asegurar que los productos sean de alta calidad y no hayan sufrido ningún daño cuando se colocan en la tienda.



Costco ha podido lograr una ventaja competitiva porque el diseño de sus operaciones es flexible y de bajo costo; sin embargo, ofrece productos de alta calidad a sus clientes.

Flexibilidad

Uno de los aspectos fundamentales de las operaciones de Costco es el hecho de que sólo vende 4,000 artículos cuidadosamente seleccionados en una tienda típica, mientras que en una supertienda de Wal-Mart se venden 125,000 artículos. Sin embargo, los artículos cambian con frecuencia para brindar a los clientes recurrentes un aspecto "sorpresa" en la experiencia de ir de compras a la tienda. Los procesos deben ser flexibles para atender las necesidades de una distribución dinámica de la tienda. Además, es preciso administrar con sumo cuidado la cadena de suministro porque los productos cambian constantemente.

Fuente: "Inside the Cult of Costco," *Fortune* 6 de septiembre de 1999, pp. 184–190; www.hoovers.com (2004); www.costco.com (2004); www.samsclub.com (2004).

calidad consistente

Producir servicios o productos que cumplen con las especificaciones de diseño de manera consistente.

Calidad consistente Por **calidad consistente** se entiende producir servicios o productos que cumplen con las especificaciones de diseño de manera consistente. Los clientes externos quieren servicios o productos que invariablemente cumplan con las especificaciones que contrataron, han llegado a esperar o vieron anunciadas. Por ejemplo, los clientes bancarios esperan que el proceso de contabilidad del banco no cometa errores al registrar las transacciones. Los clientes de una fundición esperan que las piezas satisfagan las tolerancias de longitud, diámetro y acabado de la superficie. Los clientes internos también desean consistencia en los productos de los proveedores internos o externos. El departamento de nómina necesita que los demás departamentos le informen la cantidad correcta de horas que cada empleado trabajó, y el departamento de compras necesita que los proveedores surtan materiales de calidad uniforme. Para competir con base en la calidad consistente, los gerentes tienen que diseñar y supervisar los procesos para reducir errores.

velocidad de entrega

Rapidez con la que se surten los pedidos de los clientes.

tiempo de entrega

Tiempo que transcurre entre el momento en que se recibe el pedido de un cliente y el momento en que se surte.

TIEMPO

Como dice el dicho, "el tiempo es dinero". Algunas compañías operan a la "velocidad de Internet", en tanto que otras prosperan porque cumplen sistemáticamente con las fechas de entrega prometidas. Tres prioridades competitivas se relacionan con el tiempo: la velocidad de entrega, la entrega a tiempo y la velocidad de desarrollo.

Velocidad de entrega La **velocidad de entrega** es la rapidez con la que se surten los pedidos de los clientes. La velocidad de entrega se mide a menudo por el tiempo que transcurre entre el momento en que se recibe el pedido de un cliente y el momento en que se surte, lo que suele llamarse **tiempo**

de entrega. La velocidad de entrega aumenta cuando se reduce el tiempo de espera. El tiempo de entrega que se considera aceptable puede variar entre unos minutos para la llegada de una ambulancia, algunas horas para un informe del departamento jurídico, varias semanas para programar una cirugía no urgente y un año para una máquina compleja personalizada. Una manera de reducir los tiempos de entrega es tener una reserva de capacidad excedente. Los procesos manufactureros a veces tienen otra manera: acumular inventarios.

Entrega a tiempo Ésta consiste en cumplir con las fechas de entrega prometidas. Por ejemplo, una aerolínea podría medir la entrega a tiempo como el porcentaje de vuelos que llegan a la terminal aérea dentro de los 15 minutos siguientes a la hora de llegada programada. Los fabricantes miden la entrega a tiempo como el porcentaje de pedidos de los clientes que se envía en la fecha prometida, y a menudo consideran que la meta por alcanzar es 95%. La entrega a tiempo es importante para muchos procesos, en especial los procesos justo a tiempo, en los que se requieren insumos en momentos específicos (véase el capítulo 9, "Sistemas esbeltos").

entrega a tiempo
Cumplir con las fechas de entrega prometidas.

Velocidad de desarrollo La **velocidad de desarrollo** es la rapidez con que se introduce un nuevo servicio o producto. Se mide con base en el tiempo transcurrido desde la generación de la idea hasta el diseño final y la introducción del servicio o producto. Para alcanzar un alto nivel de velocidad de desarrollo se necesita mucha coordinación entre funciones. En ocasiones, se solicita a proveedores externos críticos que participen en el servicio. Llevar el nuevo servicio o producto al mercado antes que nadie da a la empresa una ventaja sobre la competencia que es difícil de superar, y puede implicar relaciones internacionales. Por ejemplo, The Limited puede concebir una nueva idea para producir un suéter, diseñarlo, transmitir el diseño a Hong Kong donde se produce, enviar el suéter a Estados Unidos y ponerlo en los anaqueles de las tiendas en menos de 25 semanas.

velocidad de desarrollo
Rapidez con la que se introduce un nuevo servicio o producto.

Competencia basada en el tiempo Muchas compañías se centran en las prioridades competitivas de velocidad de entrega y velocidad de desarrollo en sus procesos; esta estrategia se denomina **competencia basada en el tiempo**. Para implementar la estrategia, los gerentes definen cuidadosamente los pasos y el tiempo necesarios para entregar un servicio o producir un bien y después analizan con sentido crítico cada paso para determinar si es posible ahorrar tiempo sin sacrificar calidad. En la parte 2, "Administración de procesos", se presenta el marco de referencia y las herramientas para analizar los procesos a fin de mejorar el desempeño en cualquiera de las prioridades competitivas, incluidas las que se relacionan con el tiempo.

competencia basada en el tiempo
Estrategia que se centra en las prioridades competitivas de velocidad de entrega y velocidad de desarrollo.

FLEXIBILIDAD

La flexibilidad es una característica de los procesos de una empresa que le permite reaccionar con rapidez y eficiencia ante las necesidades de los clientes. Algunos procesos requieren uno o más de los siguientes tipos de flexibilidad: personalización, variedad y flexibilidad de volumen.

Personalización La **personalización** es satisfacer las necesidades peculiares de cada cliente mediante la modificación del diseño de los servicios o productos. Por ejemplo, el proceso de planificación y diseño de anuncios en una agencia de publicidad tiene que satisfacer a los clientes que necesitan anuncios, donde las solicitudes pueden variar entre vender una caja de arena sanitaria para gatos con un comercial en el que aparezca una manada errante de gatos, e informar al público de los peligros de inhalar el humo del cigarrillo mediante un anuncio de servicio público.

Típicamente, la personalización implica que el servicio o producto tiene bajo volumen. Sin embargo, hay varias excepciones a esa generalización. Por ejemplo, el diseño personalizado de una botella de plástico para un fabricante de champú puede producirse en grandes volúmenes hasta que cambie el diseño de la botella. No obstante, los procesos con prioridad de personalización también deben trabajar en estrecha colaboración con los clientes (externos o internos) y dedicar los recursos a satisfacer sus necesidades peculiares. En la Práctica administrativa 2.2 se muestra cómo la necesidad de un alto grado de personalización en los procesos de una compañía implica modificaciones ocasionadas por cambios en el diseño de los productos y tiempos de entrega prolongados.

personalización
Satisfacer las necesidades peculiares de cada cliente mediante la modificación del diseño de los servicios o productos.

Variedad **Variedad** es manejar un amplio surtido de servicios o productos con eficiencia. La variedad difiere de la personalización en que los servicios o productos no necesariamente son exclusivos de clientes específicos y pueden tener demandas repetitivas. Por ejemplo, Amazon.com tiene un proceso de relaciones con los clientes que les permite tener acceso a miles de servicios y productos a través de Internet. Un proceso manufacturero que produce distintas partes para mesas, sillas y armarios tiene una prioridad de variedad. Los procesos que tienen como prioridad la variedad deben centrarse en las necesidades de los clientes internos o externos y cambiar con eficiencia el enfoque entre una variedad de servicios o productos predefinidos.

variedad
Manejar un amplio surtido de servicios y productos con eficiencia.

Flexibilidad de volumen La **flexibilidad de volumen** es la capacidad de acelerar o desacelerar rápidamente la tasa de producción de los servicios o productos para hacer frente a fluctuaciones pronunciadas de la demanda. La flexibilidad de volumen ofrece a menudo respaldo para otras prioridades

flexibilidad de volumen
La capacidad de acelerar o desacelerar rápidamente la tasa de producción de los servicios o productos para hacer frente a fluctuaciones pronunciadas de la demanda.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 2.2 CONSTRUCCIÓN DE PORTAAVIONES SOBRE PEDIDO DEL CLIENTE

Supuestamente, el producto más complicado y difícil de fabricar por sus aspectos técnicos es un portaaviones propulsado por energía nuclear. Considere la más reciente adición de los portaaviones clase *Nimitz* de la Marina estadounidense, el USS *Ronald Reagan*, que mide alrededor de 320 metros de proa a popa, tiene 1.82 hectáreas de cubierta superior que se usa como pista, puede surcar el océano a más de 56 kilómetros por hora y transportar 85 aviones. Cada barco de la clase *Nimitz* (hay nueve en la actualidad) cuesta más de 4,000 millones de dólares; en su fabricación, que tarda más de siete años, se usan 47,000 toneladas de acero de hasta 10 centímetros de espesor, unido con soldadura de precisión, más de un millón de partes diferentes, 1,450 kilómetros de alambre y cable, aproximadamente 40 millones de horas de trabajo calificado y miles de ingenieros. Tal producto exige un enorme grado de habilidad tecnológica y coordinación y procesos eficientes con bajos volúmenes.

El único productor en el mundo de portaaviones grandes, nucleares y de otros tipos, es Northrup Grumman Newport News, situado en la ribera del río James en Virginia. El astillero tiene casi 202.5 hectáreas de barracas, grúas, diques secos y muelles y emplea a 17,800 personas, muchas de ellas de familias que han trabajado en el astillero desde hace generaciones. A través de los años, Newport News diseñó procesos con un alto grado de flexibilidad para manejar los cambios en el diseño de los portaaviones. Cada portaaviones difiere considerablemente en diseño de sus predecesores, lleva toneladas de equipo especializado, alberga enormes cantidades de municiones y reactores nucleares, debe proveer habitaciones para 6,000 personas y ahí se preparan más de 18,000 comidas al día.

Los cambios de diseño pueden ser espectaculares. Por ejemplo, en dos años de planificación antes de que se iniciara la construcción del *Reagan* se produjeron 1,362 cambios importantes con respecto a su predecesor, incluida una nueva proa y una ampliación de la torre de control de vuelos. La necesidad de flexibilidad exigió que Newport News rediseñara sus procesos. En su mayoría, los primeros portaaviones de la clase *Nimitz* fueron construidos a mano en diques secos por trabajadores altamente calificados. Las tuberías, conductos y cables se tendieron sólo después de haber construido grandes secciones de la superestructura. Secciones importantes del *Reagan* se diseñaron usando software de bocetos tridimensionales y se construyeron a partir de módulos enormes preconstruidos, que se fabricaron en interiores y luego se transportaron al lugar de construcción y se colocaron en su lugar por medio de grúas. El software evitó la necesidad de contar con modelos de trabajo porque el diseñador pudo simular el uso de varios compartimientos o la operación del equipo con maniquíes generados por computadora.



Construcción naval Newport News.

El largo tiempo de entrega asociado con la construcción de un portaaviones también representa problemas para Newport News. Por ejemplo, uno de los primeros trabajos en el programa de construcción consiste en pedir el equipo que tiene plazos de entrega largos, como los principales componentes de los reactores nucleares. Sin embargo, después de siete años, el equipo podría quedar obsoleto. Es preciso hacer modificaciones en la superestructura del portaaviones para dar cabida a las nuevas especificaciones. Los procesos deben ser capaces de manejar estos cambios.

Un recurso clave de una operación manufacturera que se centra en la personalización es la fuerza de trabajo, que debe ser muy calificada. Aunque es posible que 2,700 empleados hayan trabajado en el *Reagan* en un momento u otro, las personas y los puestos cambiaron con el tiempo. Al principio, había mucho trabajo para soldadores, pero en la etapa final, los pintores eran los que tenían mucha demanda. Los soldadores pueden tomar una brocha y pintar, pero los pintores, por lo general, no saben operar un soplete. Newport News se las ha arreglado para tener un contrato laboral flexible con United Steelworkers y es el único contratista para la remodelación de la flotilla entera de portaaviones nucleares. Estas dos ventajas contribuyen a mitigar el problema.

El USS *Ronald Reagan* fue puesto en servicio activo el 12 de julio de 2003, 8.5 años después de que se adjudicó el contrato.

Fuente: Philip Siekman, "Build to Order: One Aircraft Carrier", *Fortune* 22 de julio de 2002, pp. 180(B)–180(J); www.nn.northropgrumman.com (2005); http://united-states-navy.com (2005).

competitivas, como la velocidad de entrega o de desarrollo. La necesidad de esta prioridad depende de la gravedad y frecuencia de las fluctuaciones en la demanda. Por ejemplo, el tiempo que transcurre entre los picos de demanda puede ser de varias horas, como ocurre con las fluctuaciones de demanda en una oficina postal grande donde se requieren procesos para recibir, clasificar y despachar la correspondencia a numerosas sucursales. Pueden pasar meses, como con los procesos en los centros turísticos para esquiar o los procesos utilizados para fabricar fertilizantes para jardín. Incluso pueden transcurrir años, como con las campañas políticas o la construcción de viviendas.

GANADORES Y CALIFICADORES DE PEDIDOS

ganador de pedidos
Criterio que usan los clientes para diferenciar los servicios o productos de una empresa de los de otra.

Las prioridades competitivas se centran en lo que las operaciones pueden hacer para ayudar a una empresa a ser más competitiva. Otra forma útil de examinar la capacidad de una empresa para alcanzar el éxito en el mercado es identificar a los ganadores de pedidos. Un **ganador de pedidos** es un criterio que los clientes usan para diferenciar los servicios o productos de una empresa

de los de otra.[2] Los ganadores de pedidos incluyen el precio (que sustentan las operaciones de bajo costo) y la mayoría de las dimensiones de calidad, tiempo y flexibilidad ya tratadas. Sin embargo los ganadores de pedidos también incluyen criterios no relacionados directamente con las operaciones de la empresa, como la asistencia después de la venta (¿se ofrecen contratos de servicio y mantenimiento? ¿Hay alguna política sobre devoluciones?); la asistencia técnica (¿qué ayuda se puede obtener si algo sale mal? ¿Los técnicos conocen bien su trabajo?); y la reputación (¿desde hace cuándo opera la compañía? ¿Otros clientes se han sentido satisfechos con el servicio o producto?). Es posible que se necesite un buen desempeño con respecto a un subconjunto de criterios ganadores de pedidos, que abarque criterios tanto operativos como ajenos a las operaciones, para realizar una venta.

Los ganadores de pedidos se infieren de las consideraciones que los clientes usan cuando deciden a qué empresa le comprarán un servicio o producto. En ocasiones, los clientes demandan un cierto nivel de desempeño demostrado incluso antes de contemplar la posibilidad de adquirir un servicio o producto. En estos casos, el ganador de pedidos se convierte en **calificador de pedidos**, que es un requisito para hacer negocios en un segmento particular del mercado. Satisfacer el calificador de pedidos no garantiza el éxito competitivo, sino que posiciona a la empresa para competir en el mercado. Desde la perspectiva de las operaciones, es importante entender qué prioridades competitivas son calificadores de pedidos en el diseño y administración de los procesos y cadenas de valor.

calificador de pedidos
Nivel de desempeño demostrado de un ganador de pedidos que se requiere para que una empresa haga negocios en un segmento particular del mercado.

Los ganadores y calificadores de pedidos se usan a menudo en las ofertas competitivas. Por ejemplo, para que un comprador tome en consideración una oferta, es posible que los proveedores tengan que documentar su capacidad de ofrecer calidad consistente, la cual se mide en función de la observancia de las especificaciones de diseño del servicio o componente que están suministrando (calificador de pedido). El comprador seleccionará al proveedor con base en los precios bajos y la reputación de éste (ganadores de pedidos).

USO DE LAS PRIORIDADES COMPETITIVAS: EJEMPLO DE UNA AEROLÍNEA

Las prioridades competitivas son una herramienta útil para llevar a la práctica las metas de la estrategia corporativa en los procesos. La palabra clave es *prioridades* porque se trata de objetivos que las operaciones de la empresa deben alcanzar no sólo para ganar clientes en el presente, sino también en el futuro. Las prioridades competitivas apropiadas que reflejan las necesidades de los clientes internos también deben asignarse a los procesos centrales y de apoyo.

Para entender mejor cómo las compañías usan las prioridades competitivas, se estudiará el caso de una importante línea de aviación. Se considerarán dos segmentos de mercado: los pasajeros de primera clase y los pasajeros de clase turista. Los servicios centrales para los dos segmentos de mercado son la expedición de boletos y selección de asientos, manejo de equipaje y transporte de los clientes a su destino. Los servicios periféricos son muy diferentes. La evaluación de necesidades de ambos segmentos de mercado pone de manifiesto que los pasajeros de primera clase requieren salones privados en los aeropuertos; trato preferencial para registrarse, abordar y bajar del avión; asientos más cómodos; mejores comidas y bebidas; más atención personal (auxiliares de vuelo que se dirijan a los clientes por su nombre); servicio más frecuente de los sobrecargos; niveles altos de cortesía; y volúmenes de voz bajos (lo que intensifica la sensación de ser especial). Los pasajeros de clase turista se sienten satisfechos con servicios estandarizados (sin sorpresas), sobrecargos corteses y precios bajos. Ambos segmentos del mercado esperan que la aerolínea se apegue a su itinerario. En consecuencia, se puede decir que las prioridades competitivas para el segmento de primera clase son *calidad superior* y *entrega a tiempo,* mientras que las prioridades competitivas para el segmento de clase turista son *operaciones de bajo costo, calidad consistente* y *entrega a tiempo.*



Una de las prioridades competitivas de las compañías de aviación es la entrega puntual de sus servicios. Uno de los aspectos cruciales de esta prioridad es reparar y dar mantenimiento ágil a los aviones para evitar retrasos.

La línea de aviación sabe cuáles deben ser sus capacidades colectivas como empresa, pero, ¿cómo comunicarlas a cada uno de sus procesos centrales? Centrémonos en cuatro procesos centrales: relación con los clientes, desarrollo de nuevos servicios y productos, surtido de pedidos y relación con los proveedores. Se asignan prioridades competitivas a cada uno de los procesos centrales para lograr el servicio requerido para producir la plena satisfacción de los clientes. He aquí algunas posibles asignaciones, sólo para darle una idea de cómo funciona esto.

[2]Terry Hill, *Manufacturing Strategy: Text and Cases,* 3a. edición, Burr Ridge, IL, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Relación con los clientes Este proceso implica niveles altos de contacto con los clientes para la expedición de boletos (tanto electrónicos como por teléfono), servicio preferencial en salones privados y abordaje. También tiene funciones de marketing y ventas. Las posibles prioridades competitivas incluyen las siguientes:

- *Calidad superior.* Niveles altos de contacto con los clientes y servicio de salones privados para los pasajeros de la primera clase.
- *Calidad consistente.* La información y el servicio no deben tener ningún error.
- *Velocidad de entrega.* Los clientes necesitan información inmediata sobre los itinerarios de vuelo y otros detalles sobre boletos
- *Variedad.* El proceso debe ser capaz de atender las necesidades de servicio de todos los segmentos del mercado y los programas promocionales, como los servicios para viajeros frecuentes.

Desarrollo de nuevos servicios Es necesario desarrollar continuamente nuevos servicios para mantenerse a la vanguardia de la competencia. Estos servicios incluyen excursiones a los paraísos vacacionales del mundo, nuevas rutas o un nuevo servicio de comida. Las prioridades competitivas podrían incluir las siguientes actividades:

- *Velocidad de desarrollo.* Es importante llegar lo más pronto posible al mercado para adelantarse a la competencia.
- *Personalización.* El proceso debe ser capaz de crear servicios únicos.
- *Calidad superior.* Los nuevos servicios deben diseñarse con cuidado porque el futuro de la aerolínea depende de ellos.

Surtido de pedidos Este proceso es responsable de entregar el servicio a la satisfacción de los clientes. Se trata de un proceso de proporciones formidables en una línea de aviación, que abarca la programación de vuelos, operaciones en la terminal, mantenimiento, servicio en cabina, operaciones de los pilotos y manejo de equipaje. Tiene muchos procesos anidados y muchas prioridades competitivas, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- *Operaciones de bajo costo.* Las aerolíneas compiten en precio y deben mantener los costos bajo control.
- *Calidad superior.* El servicio que se proporciona a los pasajeros de la primera clase debe ser de la más alta calidad. En gran medida, este aspecto del servicio abarca auxiliares de cabina bien capacitados y experimentados y servicio de comidas y bebidas de alta calidad.
- *Calidad consistente.* Una vez establecido el nivel de calidad, es importante alcanzarlo cada vez.
- *Entrega a tiempo.* La aerolínea se esfuerza por llegar a los destinos a la hora prevista; de lo contrario, los pasajeros podrían perder sus conexiones con otros vuelos.
- *Variedad.* Se requieren operaciones de mantenimiento para una variedad de modelos de aviones.

Relación con los proveedores Este proceso es responsable de adquirir todos los insumos que la aerolínea necesita para operar, que van desde recursos humanos hasta bienes de capital. Las prioridades competitivas podrían incluir las siguientes:

- *Operaciones de bajo costo.* El costo de adquirir insumos debe mantenerse en el mínimo posible para poder fijar precios competitivos.
- *Calidad consistente.* La calidad de los insumos debe cumplir con las especificaciones requeridas. Además, la información que se proporciona a los proveedores tiene que ser precisa.
- *Entrega a tiempo.* Los insumos deben entregarse según lo previsto, en especial los servicios de comidas.
- *Variedad.* Es necesario adquirir muchos insumos distintos, entre otros, artículos de mantenimiento, comidas y bebidas e incluso aviones.
- *Flexibilidad de volumen.* El proceso debe ser capaz de manejar con eficiencia las variaciones en las cantidades suministradas.

> DESARROLLO DE NUEVOS SERVICIOS O PRODUCTOS <

Las prioridades competitivas ayudan a los gerentes a desarrollar servicios y productos que los clientes necesitan. Los nuevos servicios o productos son esenciales para la supervivencia a largo plazo de la empresa. Los tiempos cambian, al igual que la gente y las tecnologías, por lo que los servicios y productos también deben cambiar. *Nuevos* se refiere tanto a los servicios o productos que no existían antes como a los cambios importantes en los servicios o productos existentes. El proceso de desarrollo de nuevos servicios o productos suele ser un proceso central en cualquier empresa. A medida que vayamos analizando el carácter e importancia del proceso de desarrollo de nuevos servicios o productos, de vez en cuando nos referiremos a los servicios o productos de una empresa como sus “ofertas”. Comenzaremos con las diferentes estrategias que las empresas usan para competir con nuevas ofertas.

ESTRATEGIAS DE DESARROLLO

Las empresas recurren a diversos métodos para ofrecer valor a sus clientes más allá de los precios bajos y la buena calidad. Las siguientes son estrategias que han resultado exitosas:

- *Variedad de productos.* Amazon.com y Wal-Mart en comercio al detalle, Dell en computadoras, Honda en motocicletas y Campbell en sopas son sólo algunas compañías que han establecido sus nichos en parte gracias a la variedad de los productos que ofrecen. Esta estrategia requiere procesos flexibles para ofrecer una amplia gama de productos o servicios, sin comprometer los costos, calidad o velocidad.
- *Diseño.* eBay en subastas por Web, Saks Fifth Avenue en comercio al detalle, Ralph Lauren en ropa, Stickley en muebles y Kenwood en equipo electrónico son ejemplos de compañías que usan el diseño como ventaja competitiva. El atractivo estético, seguridad, facilidad de uso y de mantenimiento y las características del servicio o producto distinguen las ofertas de una empresa de las de sus competidores. Competir con base en el diseño requiere a menudo hacer hincapié en la calidad superior y velocidad de desarrollo para garantizar que la empresa se mantenga a la cabeza de la competencia.
- *Innovación.* Las empresas que compiten con ofertas innovadoras deben tener la capacidad de desarrollar nuevas tecnologías y luego convertirlas en nuevos productos. La cirugía LASIK, los estudios virtuales de tomografía computarizada, las computadoras de mano, los teléfonos celulares, los sistemas de posicionamiento global y las cámaras digitales son ejemplos de ofertas innovadoras que han abierto nuevos mercados. La innovación exige mucha investigación y desarrollo, así como la capacidad de llevar las nuevas ofertas al mercado rápidamente. Con servicios o productos innovadores, la empresa que es la "primera en actuar" a menudo obtiene una enorme ventaja competitiva.
- *Servicio.* Los fabricantes pueden conseguir pedidos si ofrecen servicios con valor agregado para complementar sus productos, como servicios financieros, contratos de reparación, consultoría y servicios de reparto. Dell, por ejemplo, ayuda a los clientes a diseñar su infraestructura informática. Los fabricantes de automóviles consideran a los concesionarios como parte del proceso total que comienza con la construcción de un automóvil y termina con la entrega del vehículo al consumidor final. A través de los concesionarios, los fabricantes ofrecen asistencia en la selección de productos y entrega, financiamiento, reparaciones de garantía y servicios de mantenimiento. La experiencia total del cliente incluye la sensación de confort que perdura después de que concluye la transacción, la que se ve afectada por el carácter servicial y cortés del vendedor, el diseño de la sala de exhibición y la atención personal recibida antes, durante y después de la compra.

Las estrategias de desarrollo van más allá de especificar la variedad, diseño, innovación o vocación de servicio. Las empresas también deben definir su posición de mercado con respecto a la competencia y el tipo de relación que la empresa desea entablar con sus clientes. Las decisiones sobre la posición de mercado suponen elegir entre ser *líder* (el primero en lanzar un servicio o producto, congruente con la tendencia general a la innovación); *moderado* (esperar hasta que los líderes lanzan un servicio o producto); o *rezagado* (esperar a ver si la idea del servicio o producto tiene efecto en el mercado). La decisión sobre la posición de mercado determina cuándo iniciará la empresa el proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos.

Las decisiones sobre la relación con los clientes, en los extremos, suponen elegir entre establecer relaciones de largo plazo con los clientes o tener una relación transaccional de encuentro por encuentro. Las relaciones de largo plazo comprenden servicios o productos específicos para un cliente en particular, mientras que una relación de encuentro por encuentro supone servicios o productos que atraen a una gama más amplia de clientes. La decisión sobre el tipo de relación con los clientes determina el carácter de las ofertas de la empresa.

DEFINICIÓN DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

Los nuevos servicios y productos son importantes en cualquier economía desarrollada, en especial los servicios, dado que más de la mitad del producto interno bruto de las economías desarrolladas se genera en el sector de servicios. La globalización, los adelantos tecnológicos y las necesidades cambiantes de los clientes aumentan la necesidad de que las empresas compitan en una variedad cada vez más amplia de ofertas de nuevos servicios y productos. Las ventajas de ofrecer nuevos servicios y productos incluyen las siguientes:

- Mejorar la rentabilidad de las ofertas existentes.
- Atraer nuevos clientes a la empresa.
- Intensificar la lealtad de los clientes existentes.
- Abrir mercados de oportunidad.

Los nuevos servicios y productos proporcionan la base del crecimiento futuro en el entorno dinámico de negocios que las empresas enfrentan en la actualidad.

Paquete de servicios Uno de los aspectos más difíciles de administrar un proceso de servicio es definir qué ofrecerá el proceso a los clientes. Recuerde la última vez que tuvo una experiencia agradable en un hotel. ¿Cómo era el edificio del hotel, el área de recepción y la habitación? ¿La comida que pidió al servicio a las habitaciones le pareció sabrosa y abundante? ¿El hotel tenía piscina, restaurante y conserje? ¿Le resultó fácil estacionarse en el hotel y el botones se mostró amigable e informativo?

Su experiencia en el hotel fue un conjunto de bienes y servicios proporcionados por los numerosos procesos del hotel. Este conjunto se llama **paquete de servicios** y tiene las siguientes cuatro características:

paquete de servicios

Conjunto de bienes y servicios proporcionados por un proceso de servicio a sus clientes internos o externos.

1. *Instalaciones auxiliares.* Los recursos físicos que deben implementarse para poder ofrecer un servicio se conocen como instalaciones auxiliares. El edificio del hotel, la recepción y las habitaciones se consideran instalaciones auxiliares. Otros ejemplos incluyen un autobús, un campo de golf y una sala de cine. Las instalaciones auxiliares incluyen los elementos físicos (por ejemplo, los edificios y habitaciones), la maquinaria y equipo y los recursos humanos.
2. *Bienes facilitadores.* El material comprado o consumido por el cliente o los elementos proporcionados por el cliente para recibir un servicio se conocen como bienes facilitadores. La comida que pidió al servicio a las habitaciones es un bien facilitador. Otros ejemplos incluyen los palos de golf para jugar una ronda, las palomitas y condimentos en el cine y la documentación de su declaración de impuestos para un contador fiscal. Estos elementos no son el servicio; sin embargo, se necesitan para proporcionarlo.
3. *Servicios explícitos.* Los beneficios que se perciben de inmediato con los sentidos y consisten en las características esenciales del servicio se conocen como servicios explícitos. Los servicios explícitos que recibió del servicio a las habitaciones incluyeron la preparación de los alimentos por el chef y la entrega de la comida en la habitación por parte del mozo. Nadar en la piscina, disfrutar de una comida bien preparada y el servicio en las mesas del restaurante, y recibir sugerencias sobre excursiones en la agencia de viajes son ejemplos adicionales de servicios explícitos del hotel. Otros ejemplos de servicios explícitos incluyen la entrega de un paquete en su hogar, un auto lavado y la preparación de una cartera de anualidades con pago de impuestos diferido.
4. *Servicios implícitos.* Los beneficios psicológicos que el cliente percibe vagamente o las características no esenciales del servicio se conocen como servicios implícitos. Un botones jovial puede crear una sensación de calidez y confort y sentarse en el vestíbulo del hotel a admirar el glamour de los alrededores lujosos puede proporcionar una vaga sensación de bienestar. Otros ejemplos incluyen el uso de un sistema de citas en el consultorio de un médico (imparcialidad y control); un área de estacionamiento bien iluminada (seguridad); y entretenimiento mientras espera en una fila, como en Disney World (para hacer que los retrasos parezcan más cortos).

El diseño del paquete de servicios requiere un análisis cuidadoso de las necesidades del cliente y un buen entendimiento de las prioridades competitivas. Compare el paquete de servicios del hotel que visitó con el de un motel barato, que tiene fachada de estuco y una recepción pequeña, no cuenta con servicio a las habitaciones ni con piscina o botones. El motel resulta atractivo para los huéspedes que buscan calidad consistente y precios bajos, mientras que el hotel de lujo resulta atractivo a los huéspedes que quieren calidad superior y una variedad de servicios. El paquete de servicios del motel es mucho menos complejo que el del hotel de lujo. En cada caso, el diseño de los procesos debe tener en cuenta el paquete de servicios y las prioridades competitivas.

Despliegue de la función de calidad Un insumo clave en la definición de los servicios y productos es las necesidades y deseos del cliente. Este insumo puede usarse para definir los nuevos servicios y productos o perfeccionar los existentes. Una técnica empleada por las compañías manufactureras y por algunas empresas de servicios para mejorar las ofertas existentes es el **despliegue de la función de calidad (QFD)** (del inglés *quality function deployment*). Este proceso es un medio para traducir las necesidades del cliente en los requisitos técnicos apropiados para cada etapa de desarrollo y producción del servicio o producto. Bridgestone Tire y Mitsubishi Heavy Industries originaron el QFD a finales de la década de 1960 y principios de la siguiente, cuando emplearon gráficos que tomaban en cuenta las necesidades del cliente en el proceso de diseño de los productos. En 1978, Yoji Akao y Shigeru Mizuno publicaron el primer trabajo sobre este tema y demostraron cómo pueden "desplegarse" las consideraciones de diseño en todos los elementos de competencia. Desde entonces, más de 200 compañías estadounidenses han aplicado este método; entre ellas figuran Digital Equipment, Texas Instruments, Hewlett-Packard, AT&T, ITT, Ford, Chrysler, General Motors, Procter & Gamble, Polaroid y Deere & Company.

despliegue de la función de calidad (QFD)

Medio para traducir las necesidades del cliente en los requisitos técnicos apropiados para cada etapa de desarrollo y producción del servicio o producto.

El método QFD intenta responder a las siguientes seis preguntas:

1. *Voz del cliente.* ¿Qué necesitan y desean nuestros clientes?
2. *Análisis competitivo.* En función de nuestros clientes, ¿cómo nos desempeñamos en relación con nuestros competidores?
3. *Voz del ingeniero.* ¿Qué medidas técnicas se relacionan con las necesidades de nuestros clientes?
4. *Correlaciones.* ¿Qué relaciones hay entre la voz del cliente y la voz del ingeniero?
5. *Comparación técnica.* ¿Cómo se compara el desempeño de nuestro servicio o producto con el de la competencia?
6. *Concesiones. ¿Cuáles son las posibles concesiones de carácter técnico?*

El análisis proporciona un punto de partida para buscar la forma de conseguir ventaja competitiva. A continuación, es preciso especificar las relaciones entre las necesidades del cliente y los atributos de ingeniería. Por último, es necesario reconocer el hecho de que el mejoramiento de una medida de desempeño puede implicar el empeoramiento de otra.

El método QFD proporciona una forma de establecer objetivos y discutir sus posibles efectos en la calidad del producto. Los ingenieros usan los datos para centrar su atención en características significativas del diseño de un producto. Marketing emplea este insumo para determinar sus estrategias. Operaciones se basa en esa información a fin de identificar los procesos que serán decisivos para mejorar la calidad del producto, tal como la perciben los clientes. Por consiguiente, el QFD fomenta la comunicación entre funciones con el propósito de mejorar la calidad de los servicios y productos.

PROCESO DE DESARROLLO

El proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos comienza con la consideración de la estrategia de desarrollo y termina con el lanzamiento de la nueva oferta. En la figura 2.2 se muestran las cuatro etapas del proceso.

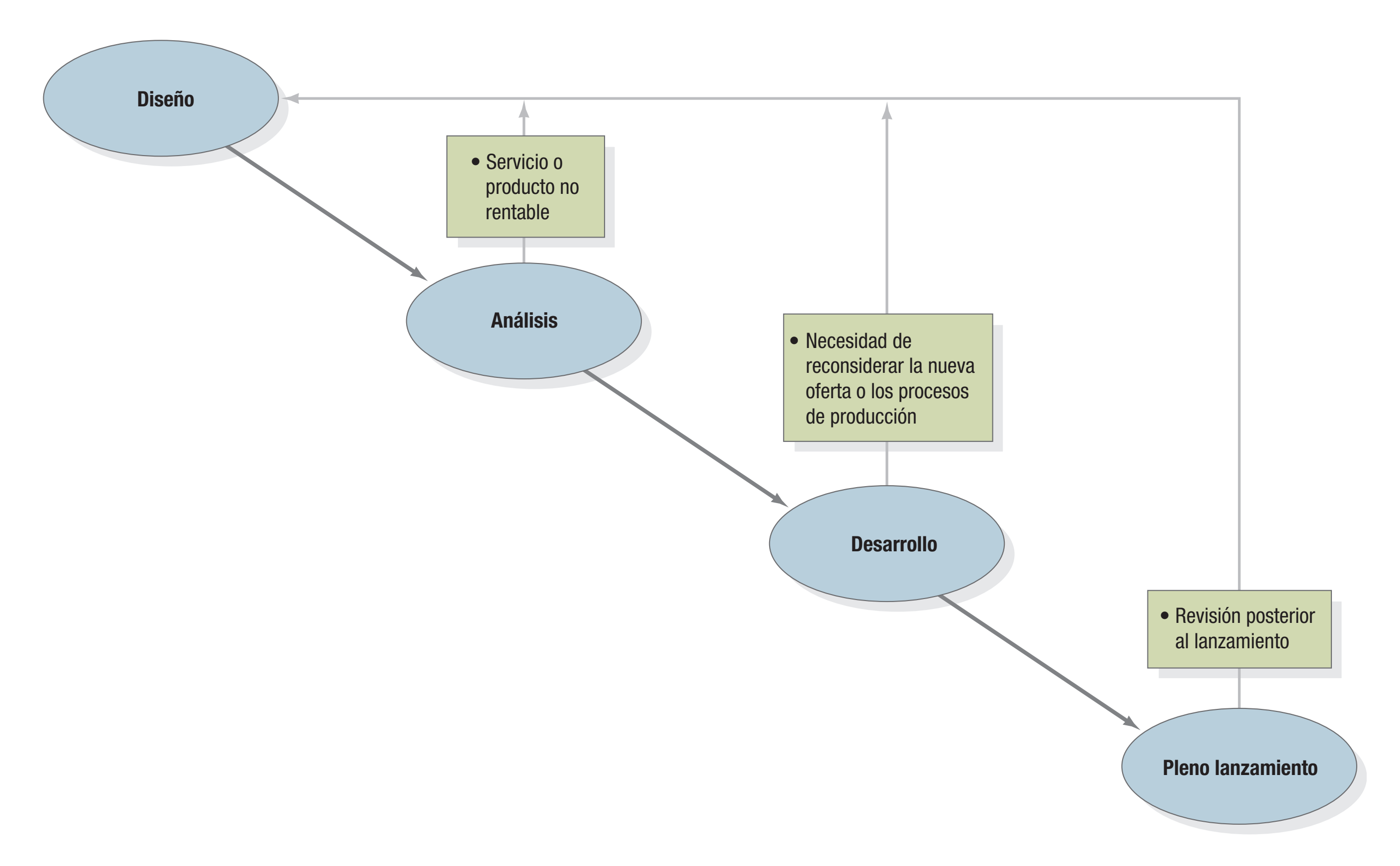


FIGURA 2.2 | Proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos

Diseño La etapa de *diseño* es crucial porque relaciona la creación de los nuevos servicios o productos con la estrategia corporativa de la empresa. Como hemos señalado, la estrategia corporativa especifica los objetivos a largo plazo y los mercados en los que la empresa desea competir. Dentro de ese marco, la estrategia de desarrollo especifica el rumbo que la empresa desea tomar con sus ofertas. Las ideas de nuevas ofertas se generan y examinan para determinar su viabilidad y si vale la pena comercializarlas. En el caso de los servicios, estas ideas especifican cómo el cliente se pone en contacto con el proveedor del servicio, las ventajas del servicio y los resultados para el cliente, el valor del servicio y cómo se entregará. En seguida, se formula un paquete específico de servicios para la mejor idea, se asignan prioridades competitivas a los procesos, se propone cómo se entregará el paquete de servicios y se verifica la viabilidad. Hablaremos más sobre cómo se entrega el servicio cuando abordemos el tema del diseño de un proceso de servicio en el capítulo 4, "Estrategia de procesos".

Para los productos manufacturados, las nuevas ideas incluyen una especificación de la arquitectura del producto, que puede ser modular o integrada. Con la arquitectura modular, el producto es un ensamblaje de componentes. Diferentes versiones del producto pueden producirse con rapidez usando los mismos componentes estandarizados. Este método sustenta las prioridades competitivas de variedad de productos y velocidad de entrega; sin embargo, puede afectar negativamente el desempeño del producto, debido a la presión por usar los componentes existentes en los nuevos productos. Además, puede ser más fácil para los competidores copiar estos diseños. Con la arquitectura integrada, sólo unos cuantos componentes ejecutan las funciones del producto, los cuales se diseñan específicamente para ello. Las estructuras integradas suelen producir un mejor desempeño del producto y no pueden imitarse con facilidad; sin embargo, el tiempo de entrega del diseño es largo y la capacidad de producir una variedad de productos es limitada.

La idea más prometedora de un producto nuevo se selecciona para estudiarla más detenidamente, lo que incluye realizar el diagrama de la unidad, proporcionar especificaciones de las dimensiones de desempeño del producto e investigar la viabilidad de fabricación y el costo del nuevo producto. En esta etapa, las empresas utilizan los insumos de sus ingenieros industriales en una actividad llamada *diseño para la manufactura.* A pesar de que los detalles específicos del producto y el proceso aún no se han establecido, esta interacción de diseñadores e ingenieros industriales puede evitar errores costosos.

Análisis La segunda etapa, *análisis,* comprende una revisión crítica de la nueva oferta y cómo se producirá para asegurar que se ajuste a la estrategia corporativa, sea compatible con las normas de regulación, presente un riesgo aceptable de mercado y satisfaga las necesidades de los clientes deseados. Las necesidades de recursos para la nueva oferta deben examinarse desde la perspectiva de las capacidades centrales de la empresa y la necesidad de adquirir recursos adicionales o formar sociedades estratégicas con otras empresas. Si el análisis pone de manifiesto que la nueva oferta tiene un buen potencial de mercado y que la empresa cuenta con la capacidad necesaria (o puede adquirirla), se otorga la autorización para continuar con la siguiente etapa.

Desarrollo La tercera etapa, *desarrollo,* aporta más especificidad a la nueva oferta. Las prioridades competitivas requeridas se usan como insumos para el diseño (o rediseño) de los procesos que intervendrán en la entrega de la nueva oferta. Los procesos se analizan; cada actividad se diseña para satisfacer las prioridades competitivas requeridas y agregar valor al servicio o producto. Después de especificar la nueva oferta y haber diseñado los procesos, se procede a diseñar el programa de mercado. Por último, se capacita al personal y se realizan algunas pruebas piloto para corregir los problemas de producción. En esta etapa del proceso de desarrollo, es posible que surjan algunas dificultades imprevistas que obliguen a reconsiderar el servicio o producto o los procesos necesarios para producirlo.

Por ejemplo, un nuevo paquete de servicios de una aerolínea puede incluir la adición de una nueva ruta de South Bend, Indiana a Columbus, Ohio, a las cinco de la tarde todos los días entre semana. Se entregaría con un Boeing 737 debido al espacio y confort que ofrece este tipo de avión. Sin embargo, suponga que la flotilla de aviones 737 de la aerolínea ya se usa a toda su capacidad y que cambiar los horarios implicaría afectar toda la red de vuelos y horarios. El nuevo vuelo podría ofrecerse si la aerolínea celebrara un contrato con un proveedor regional que utiliza un avión más pequeño. La comodidad de los pasajeros y los costos de entrega del servicio resultarían afectados. Dicho cambio en el paquete de servicios y los procesos requeridos para entregarlo exigiría un análisis más a fondo.

Para evitar discrepancias costosas entre el diseño de una nueva oferta y la capacidad de los procesos requeridos para producirla, muchas empresas ponen en práctica un concepto llamado **ingeniería concurrente,** que reúne a los ingenieros de productos, ingenieros de procesos, especialistas en marketing, compradores, especialistas en información, especialistas en calidad y proveedores, para trabajar conjuntamente en el diseño de un servicio o producto y los procesos requeridos que satisfarán las expectativas de los clientes. Por ejemplo, Ford Motor Company asigna toda la responsabilidad de cada nuevo producto a un gerente de programa, que forma un equipo

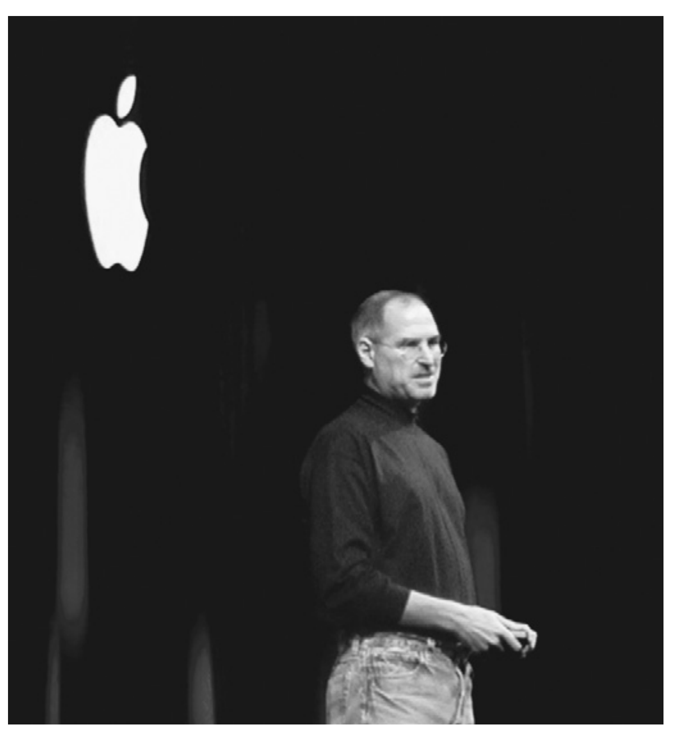
ingeniería concurrente

Concepto que reúne a los ingenieros de productos, ingenieros de procesos, especialistas de marketing, compradores, especialistas en información, especialistas en calidad y proveedores, para trabajar conjuntamente en el diseño de un servicio o producto y los procesos requeridos que satisfarán las expectativas de los clientes.

del producto, en el cual están representadas todas las partes pertinentes de la organización. Cada sistema puede expresar sus inquietudes o prever los problemas a tiempo para modificar el producto o los procesos de manufactura. Los cambios son muchos más sencillos y menos costosos en esta etapa. Sin embargo, los problemas con el diseño del producto o la capacidad para entregarlo pueden descubrirse en esta etapa. Es posible que la propuesta del producto tenga que descartarse o reconsiderarse por completo.

Pleno lanzamiento La etapa final, de *pleno lanzamiento,* implica la coordinación de muchos procesos. Es necesario iniciar la promoción de la nueva oferta, informar al personal de ventas, activar los procesos de distribución y retirar los servicios o productos anteriores que la nueva oferta sustituirá. Los procesos necesarios para producir la oferta se ven sometidos a una intensa presión durante el periodo llamado *de arranque,* cuando los procesos de producción deben incrementar el volumen para satisfacer la demanda y, al mismo tiempo, solucionar los problemas de calidad e implementar cambios de último momento en el diseño.

Las prioridades competitivas pueden cambiar con el tiempo. Por ejemplo, considere un producto estandarizado de alto volumen, como las impresoras a color de inyección de tinta. En las primeras etapas del periodo de arranque, cuando las impresoras acababan de introducirse en el mercado masivo, los procesos de manufactura requerían calidad consistente, velocidad de entrega y flexibilidad de volumen. En las etapas posteriores del arranque, cuando la demanda era alta, las operaciones de bajo costo, la calidad consistente y la entrega a tiempo pasaron a ser las prioridades competitivas. En una revisión posterior al lanzamiento se comparan las prioridades competitivas de los procesos con las capacidades competitivas y tal vez se detecte la necesidad de reconsiderar la idea original del producto. En la revisión también se obtienen las opiniones de los clientes, que divulgan sus experiencias y comparten sus ideas sobre nuevas ofertas.



Steve Jobs, director general de Apple, durante el evento Macworld en San Francisco.

ESTRATEGIA DE OPERACIONES COMO PATRÓN DE DECISIONES

La estrategia de operaciones traduce los planes de servicios o productos y las prioridades competitivas para cada segmento de mercado en decisiones que afectan las cadenas de valor que respaldan a esos segmentos de mercado. La figura 2.3 muestra cómo la estrategia corporativa enlaza las decisiones fundamentales sobre la administración de operaciones. El gerente de operaciones debe seleccionar una estrategia de servicio o manufactura para cada proceso de la cadena de valor. Esta estrategia determina cómo se organizarán los procesos de la empresa para manejar el volumen y la variedad de servicios o productos para cada segmento específico del mercado. Esta decisión inicial pone en marcha una serie de otras decisiones que regirán el diseño de los procesos, sistemas y procedimientos que sustentan la estrategia de operaciones. Estas decisiones no son estáticas; tienen que reevaluarse constantemente de acuerdo con la dinámica del mercado. Estas decisiones se explican detalladamente a lo largo de este texto.

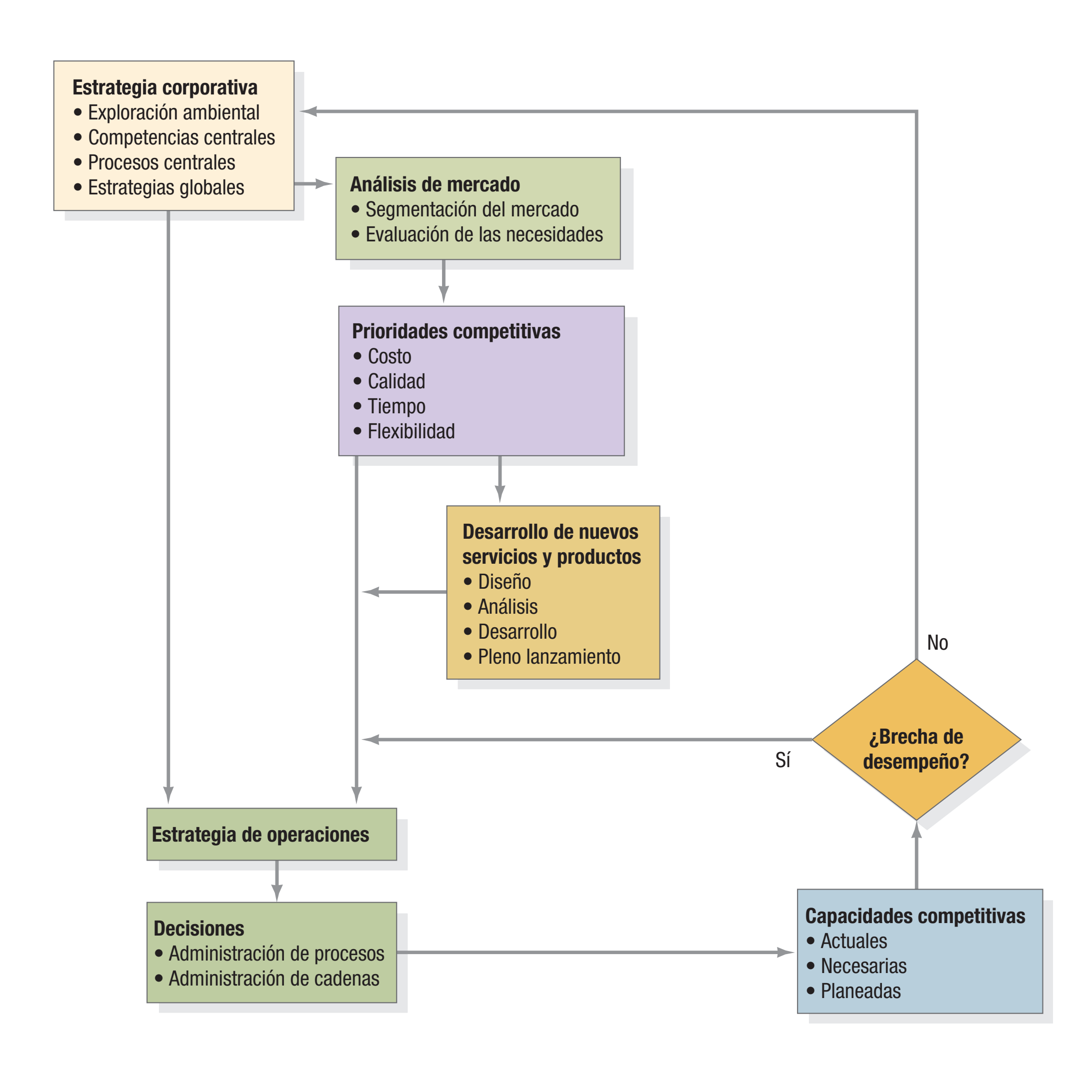
Desde una perspectiva estratégica, los gerentes de operaciones son responsables de tomar las decisiones que garantizarán que la empresa cuente con la capacidad necesaria para atender las prioridades competitivas de los segmentos de mercado, nuevos y existentes, a medida que vayan evolucionando. Además, debido a las diferencias en competencias centrales, segmentos de mercado atendidos y grado de integración Web, el patrón de decisiones de una organización puede ser muy diferente del de otra, incluso si ambas se desenvuelven en la misma industria. Cada proceso debe analizarse desde la perspectiva de los clientes que atiende, ya sean externos o internos.

Las decisiones relativas a la administración de operaciones contribuyen al desarrollo de la capacidad de la empresa para competir con éxito en el mercado. Una vez que los gerentes determinan las prioridades competitivas de un proceso, es necesario evaluar las *capacidades competitivas* del proceso. Toda brecha entre una prioridad competitiva y la capacidad para lograrla debe cerrarse con una estrategia de operaciones eficaz.

La idea central de la estrategia de operaciones es desarrollar las capacidades y cerrar las brechas. Para demostrar cómo funciona esto, suponga que los directivos de la división de tarjeta de crédito de un banco deciden emprender una campaña de marketing para aumentar considerablemente su clientela, sin aumentar los costos. Un proceso fundamental de esta división es el de facturación y pagos. La división recibe las transacciones de crédito de los comerciantes, les paga, organiza y envía las facturas a los tarjetahabientes y procesa los pagos. Se espera que la nueva campaña de marketing incremente de manera considerable el volumen de facturas y pagos. Al

FIGURA 2.3

Conexión entre la estrategia corporativa y las decisiones fundamentales sobre la administración de operaciones



evaluar las capacidades que el proceso debe tener para atender a los clientes del banco y superar los retos de la nueva campaña de mercado, la gerencia asignó las siguientes prioridades competitivas al proceso de facturación y pagos:

- *Operaciones de bajo costo.* Es importante mantener costos bajos en el procesamiento de las facturas porque los márgenes de utilidad son muy estrechos.
- *Calidad consistente.* El proceso debe producir facturas continuamente, efectuar pagos a los comerciantes y registrar con precisión los pagos de los tarjetahabientes.
- *Velocidad de entrega.* Los comerciantes necesitan recibir con prontitud los pagos por las compras a crédito.
- *Flexibilidad de volumen.* Se espera que la campaña de marketing genere muchas más transacciones en un periodo breve.

La gerencia supuso que los clientes se rehusarían a tener tratos con un banco que no pudiera producir facturas o pagos exactos. En consecuencia, la calidad consistente es un calificador de pedidos en este proceso.

¿El proceso de facturación y pagos está a la altura del reto competitivo? La tabla 2.1 muestra cómo ajustar las capacidades a las prioridades y descubrir las posibles brechas en la estrategia de operaciones de la división de tarjeta de crédito. El procedimiento para evaluar una estrategia de operaciones comienza por identificar buenos indicadores para medir cada prioridad. Es mejor que los indicadores sean lo más cuantitativos posible. Se recopilan datos para cada indicador a fin de determinar las capacidades actuales del proceso. Para identificar las brechas, se compara cada capacidad con los valores que la gerencia se ha fijado como objetivo de los indicadores y las brechas inaceptables se cierran con las medidas apropiadas.

La división de tarjeta de crédito tiene brechas considerables en la capacidad del proceso para tener operaciones de bajo costo. La solución de la gerencia consiste en rediseñar el proceso para reducir los costos, sin afectar las demás prioridades competitivas. Asimismo, en cuanto a flexibilidad de volumen, la gerencia se dio cuenta de que un alto nivel de utilización no ayuda a procesar

TABLA 2.1 Evaluación del proceso de facturación y pagos para la estrategia de operaciones

Prioridad competitiva	Indicador	Capacidad	Brecha	Medida
Operaciones de bajo costo	• Costo por estado de cuenta	• $0.0813	• El objetivo es $0.06	• Eliminar la microfilmación y almacenamiento de estados de cuenta
	• Costo semanal de los portes postales	• $17,000	• El objetivo es $14,000	• Desarrollar un proceso basado en Web para enviar las facturas
Calidad consistente	• Porcentaje de errores en la información de facturación	• 0.90%	• Aceptable	• Ninguna
	• Porcentaje de errores en el registro de los pagos	• 0.74%	• Aceptable	• Ninguna
Velocidad de entrega	• Tiempo de espera para procesar los pagos de los comerciantes	• 48 horas	• Aceptable	• Ninguna
Flexibilidad de volumen	• Utilización	• 98%	• Demasiado alto para admitir un aumento rápido en volumen	• Contratar empleados temporales • Mejorar los métodos de trabajo

aumentos bruscos en el volumen y mantener, al mismo tiempo la velocidad de entrega. Las medidas recomendadas contribuirán a crear la capacidad para satisfacer demandas más volátiles.

Para que las prioridades funcionen, es necesario saber cómo mejorar las capacidades a fin de reducir las brechas. En los capítulos de la parte 2 se le proporcionarán las herramientas para evaluar el desempeño, determinar la capacidad de un proceso y rediseñar los procesos para cerrar las brechas. En la parte 3 se le enseñará a diseñar cadenas de valor y cómo satisfacer las necesidades de los clientes que atienden.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> TÉRMINOS CLAVE <

calidad consistente 52
calidad superior 51
calificador de pedidos 55
capacidades competitivas 51
competencia basada en el tiempo 53
competencias centrales 48
despliegue de la función de calidad (QFD) 58
entrega a tiempo 53
estrategia de operaciones 46
flexibilidad de volumen 53
ganador de pedidos 54
ingeniería concurrente 60
operaciones de bajo costo 51
paquete de servicios 58
personalización 53
prioridades competitivas 50
tiempo de entrega 52
variedad 53
velocidad de desarrollo 53
velocidad de entrega 52

> PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN <

1. En un principio, el crecimiento exponencial del desarrollo de las tecnologías informáticas alentó el nacimiento de muchas empresas de Internet. Internet permitió a estas compañías llegar a los clientes de maneras eficaces. Considere a Amazon.com, cuyo sitio Web recibe millones de visitas todos los días y pone a los clientes en contacto con más de 18 millones de servicios y productos. ¿Cuáles son las prioridades competitivas de Amazon.com y en qué debe centrarse su estrategia de operaciones?
2. Un hospital local ha anunciado que se compromete a brindar *atención* en menos de 15 minutos a los pacientes que llegan a la unidad de urgencias y que nunca rechazará a los pacientes que requieran hospitalización para recibir tratamiento médico adicional. ¿Qué repercusiones tiene este compromiso en las decisiones estratégicas de la administración de operaciones (por ejemplo, las decisiones relacionadas con la capacidad y el personal)?
3. FedEx levantó su negocio con base en la entrega rápida y confiable de artículos enviados por vía aérea de una empresa a otra. Entre las primeras ventajas que ofreció estuvo la posibilidad de rastrear envíos en todo el mundo mediante el uso de tecnología Web. Los adelantos en la tecnología de Internet permitieron a los competidores volverse mucho más sofisticados en el seguimiento de pedidos. Además, con el adveni-

miento de las empresas de Internet aumentó la presión para incrementar las entregas por transporte terrestre. Explique cómo este cambio en el entorno podría afectar la estrategia de operaciones de FedEx, especialmente en relación con UPS, que tiene una posición fuerte en el negocio de envíos de empresa a consumidor por vía terrestre.

4. Entender el paquete de servicios permite a la gerencia identificar formas de adquirir ventaja competitiva en el mercado. ¿Cuáles considera usted que sean los componentes del paquete de servicios en el suministro de lo siguiente?

a. Una póliza de seguro de automóvil.
b. La colocación de una corona por un dentista.
c. Un vuelo de una aerolínea.

5. Suponga que está realizando un análisis de mercado para un nuevo libro de texto sobre administración de tecnologías. ¿Qué necesitaría saber para identificar un segmento de mercado? ¿Cómo realizaría una evaluación de necesidades? ¿Cuál podría ser el conjunto de servicios y productos?

6. Aun cuando las nueve prioridades competitivas mencionadas en el capítulo son pertinentes para el éxito de una compañía en el mercado, explique por qué las empresas no tienen que sobresalir necesariamente en todas ellas. ¿Qué determina la elección de las prioridades competitivas en las que una compañía debe poner mayor interés?

7. La elección de los procesos centrales para la posición competitiva de una empresa es una decisión estratégica clave. Por ejemplo, Nike, una compañía de calzado deportivo popular, se centra en la relación con los clientes, el desarrollo de nuevos productos y la relación con los proveedores, y deja el proceso de surtido de pedidos a otros. Edmonds, una compañía de calzado de calidad superior, considera que los cuatro procesos son centrales. ¿Qué tomaría usted en consideración para determinar cuáles procesos deberían ser centrales en una empresa manufacturera?

8. Un restaurante local de comida rápida procesa los pedidos de varios clientes al mismo tiempo. Los empleados de servicio se entrecruzan, e incluso llegan a estar a punto de chocar, en su búsqueda de rutas diferentes para atender los pedidos de la clientela. Si algún cliente les pide una combinación especial de aderezos en sus hamburguesas, tendrá que esperar mucho tiempo mientras la cocina prepara el pedido especial. ¿Cómo modificaría usted las operaciones del restaurante para lograr la ventaja competitiva? Debido a que la demanda se multiplica a la hora de la comida, la flexibilidad de volumen es una prioridad competitiva en el negocio de comida rápida. ¿Cómo lograría usted esa flexibilidad de volumen?

9. Kathryn Shoemaker fundó el restaurante Grandmother's Chicken, en Middlesburg, hace cinco años. Ahí sirve una singular receta de pollo "como la abuela acostumbraba cocinarlo". El local es acogedor, con servicio relajado y agradable. El negocio ha marchado bien en los dos últimos años, tanto a la hora de la comida como durante la cena. Normalmente, los clientes esperan unos 15 minutos a que les sirvan, pero las quejas por el retraso en el servicio han aumentado. Shoemaker está pensando si le conviene ampliar sus instalaciones actuales o si sería mejor abrir un restaurante similar en la población vecina de Uniontown, que crece rápidamente.

a. ¿Qué tipo de planes estratégicos debe hacer Shoemaker?
b. ¿Qué fuerzas del entorno, que podrían presentarse en Middlesburg y Uniontown, debe tomar en consideración Shoemaker?
c. ¿Cuáles son las posibles competencias distintivas de Grandmother's?

10. Russell's Pharmacy ha estado establecida desde hace 20 años en la plaza municipal de River City, la única población en más de 30 kilómetros a la redonda. La economía de River City está dominada por la agricultura y generalmente sube y baja con el precio del maíz. No obstante, Russell's Pharmacy es un negocio que disfruta de estabilidad. Jim Russell trata con familiaridad a todos los pobladores del lugar. Les ofrece un servicio amigable y preciso, escucha con paciencia las quejas acerca de la salud y conoce la historia clínica familiar de todos los habitantes. Lleva un inventario de los medicamentos que requieren sus clientes regulares, pero a veces se retrasa un día en surtir recetas nuevas. Sin embargo, no puede conseguir los fármacos al mismo precio bajo que las grandes cadenas farmacéuticas. Últimamente, han surgido problemas en River City y varios edificios que rodean la plaza municipal han quedado abandonados o se usan como depósitos de automóviles viejos. El poblado muestra síntomas de que se marchita junto con la granja familiar. A 30 kilómetros corriente arriba, en una isla grande del río, se localiza el floreciente poblado de Large Island. Russell está pensando en la posibilidad de mudarse al Centro Comercial Conestoga, en Large Island.

a. ¿Qué tipo de planes estratégicos debe hacer Russell?
b. ¿Qué fuerzas del entorno podrían entrar en acción que Russell debe tomar en consideración?
c. ¿Cuáles son las posibles competencias centrales de Russell's Pharmacy?

11. Wild West, Inc. es una compañía telefónica regional que heredó casi 100,000 empleados y 50,000 jubilados de AT&T. Wild West tiene una nueva misión: diversificarse. Se requiere un esfuerzo de 10 años para introducirse en los mercados de servicios financieros, bienes raíces, televisión por cable, compras desde el hogar, entretenimiento y servicios de comunicación celular (y también para competir con otras compañías telefónicas). Wild West planea ofrecer servicios de comunicación celular y por fibra óptica en mercados con competidores ya establecidos, como el Reino Unido, y en mercados donde prácticamente no existe competencia, como Rusia y los países del ex bloque soviético.

a. ¿Qué tipo de planes estratégicos debe hacer Wild West? ¿Es factible la opción de "no hacer nada"? Si la misión de Wild West le parece demasiado amplia, ¿qué negocios suprimiría primero?
b. ¿Qué fuerzas del entorno podrían entrar en acción que Wild West debería tomar en consideración?
c. ¿Cuáles son las posibles competencias centrales de Wild West? ¿Qué debilidades debe evitar o mitigar?

12. Desea elegir un banco para abrir una cuenta de cheques que pague intereses. Varios bancos de su comunidad ofrecen servicios competitivos de cuentas de cheques que pagan la misma tasa de intereses. Identifique la naturaleza del paquete de servicios que podría servirle como guía en su elección.

13. Está diseñando un negocio de entrega de víveres a domicilio. A través de Internet, su empresa ofrecerá alimentos frescos y congelados en un área metropolitana grande y luego los entregará dentro de un lapso definido por el cliente. Planea asociarse con dos importantes tiendas de alimentos en la zona. ¿Cuáles deben ser sus prioridades competitivas y qué capacidades necesita desarrollar en sus operaciones?

CASO

BSB, Inc., la guerra de las pizzas llega al campus

La confianza de Renee Kershaw, gerente de servicios alimentarios en una universidad privada de tamaño mediano, ubicada en el sudeste de Estados Unidos, acaba de sufrir un duro revés. Al ver el éxito de su servicio de venta de pizzas al cabo del primer año de operaciones, decidió que era el momento propicio para expandir sus operaciones con la elaboración de pizzas en el campus. Sin embargo, el rector de la universidad anunció ayer sus planes de iniciar la construcción de un centro para estudiantes en el campus que, entre otras cosas, incluirá un nuevo comedor. Apartándose de la política precedente de la universidad, en este nuevo centro se permitirá y se recibirá la operación de servicio de alimentos de tres organizaciones privadas: Dunkin' Donuts, Taco Bell y Pizza Hut. Hasta el momento, todos los servicios de alimentos en el campus se habían contratado con BSB, Inc.

Servicio de alimentos en el campus

BSB, Inc., es una compañía de servicios alimentarios muy grande, que opera en todo el país y atiende a una clientela constituida por organizaciones. El nivel de servicio que ofrece es variable, según el tipo de mercado que deba atender y las especificaciones particulares de cada contrato. Esta compañía está organizada en tres divisiones orientadas a su respectivo mercado: corporaciones, aerolíneas y universidades y escuelas superiores. Por supuesto, Kershaw es empleada de la división de universidades y escuelas superiores.

En esta universidad específica, BSB, Inc., fue contratada para proveer servicios alimentarios a todo el campus, compuesto en total por 6,000 estudiantes y 3,000 profesores, administradores y personal de apoyo. Situado en una ciudad de 200,000 habitantes aproximadamente, este campus fue construido en un predio donado por un rico industrial. En vista de que el campus está un poco retirado del resto de la ciudad, los estudiantes que desean ir de compras o comer fuera del campus tienen que ir a la ciudad en automóvil.

El campus mismo no es muy grande y se puede ir a pie a todas partes; tiene dormitorios, aulas y servicios complementarios, como una librería, una tienda de artículos varios, una peluquería, una sucursal bancaria e instalaciones con servicio de alimentos, todos muy próximos entre sí. El acceso al campus en automóvil es limitado y los estacionamientos se encuentran en la periferia. La universidad también proporciona espacio para tres instalaciones de servicio de alimentos por un pago simbólico de alquiler. La mayor de estas instalaciones, una amplia cafetería ubicada en la planta baja del edificio administrativo principal, se localiza en el centro del campus. Esta cafetería está abierta todos los días y sirve desayunos, comidas y cenas. Un segundo local, llamado Dogwood Room, está ubicado en el segundo piso del edificio de la administración y sirve un exclusivo bufé a la hora de la comida, pero sólo los días hábiles. El tercer establecimiento es un pequeño local que sirve alimentos a la parrilla y se encuentra en la esquina de un edificio recreativo, cerca de los dormitorios. Este local abre diariamente de 11 a.m. a 10 p.m. y hasta la medianoche los viernes y sábados. Kershaw tiene bajo su responsabilidad las operaciones de los tres locales.

La decisión sobre las pizzas

BSB, Inc., ha manejado los servicios de alimentos en el campus en los últimos 10 años (desde el día que la universidad decidió que su misión y competencias centrales debían enfocarse en la educación y no en el servicio de alimentos). Kershaw trabaja en esta universidad desde hace 18 meses. Anteriormente fue subgerente de servicios alimentarios en una pequeña universidad del noreste del país. Después de tres o cuatro meses de recibir capacitación en su nuevo puesto, realizó una encuesta para conocer las necesidades de los clientes y las tendencias del mercado.

Un análisis de los datos de la encuesta indicó que los estudiantes no estaban tan satisfechos con el servicio de alimentos como ella hubiera deseado. Una cantidad considerable de los alimentos que los estudiantes consumían, los cuales se desglosan a continuación, no los compraban en las instalaciones de BSB:

Porcentaje de alimentos preparados en los dormitorios	20
Porcentaje de alimentos entregados de lugares fuera del campus	36
Porcentaje de alimentos consumidos fuera del campus	44

Las razones que los estudiantes mencionaron más comúnmente a este respecto fueron: (1) la falta de variedad en la oferta de alimentos, y (2) los horarios escolares estrictos y erráticos que no siempre coincidían con los horarios de servicio de la cafetería. Otros tres resultados de la encuesta inquietaron a Kershaw: (1) el alto porcentaje de estudiantes que tienen automóvil; (2) el alto porcentaje de estudiantes que tienen refrigerador y horno de microondas en la habitación, y (3) el número de ocasiones que los estudiantes se comunican con tiendas, cafeterías o restaurantes externos para comprar alimentos y solicitar que les sean enviados al campus.

Porcentaje de estudiantes con automóvil en el campus	84
Porcentaje de estudiantes que tienen refrigerados y horno de microondas en su habitación	62
Porcentaje de alimentos que los estudiantes consumen fuera de las instalaciones de BSB, Inc.	43

En respuesta a la encuesta de mercado, Kershaw decidió ampliar el menú del local que vende alimentos a la parrilla para incluir pizzas. Además de la ampliación del menú, también instituyó un servicio de entrega a domicilio en todo el campus. Así, los estudiantes no sólo tendrían mayor variedad, sino que también dispondrían de la comodidad de la entrega rápida de alimentos en sus habitaciones. A fin de implementar estos cambios, Kershaw mandó instalar un horno para pizzas en el local de alimentos a la parrilla y asignó espacios para almacenar los ingredientes de las pizzas, para cortarlas y empaquetarlas y para colocar pizzas prefabricadas, listas para el horno. El personal existente fue capa-

citado en la preparación de pizzas y se contrató personal adicional para que las repartiera en bicicleta. En un intento de abatir los costos y acelerar el tiempo de entrega, Kershaw limitó las combinaciones de ingredientes disponibles. De esta manera, el personal podía preparar cierto número de "pizzas estándar", listas para hornearse en cuanto se recibiera un pedido.

El éxito

Kershaw creía que su decisión de ofrecer servicio de pizzas en el local para venta de alimentos a la parrilla era acertada. Las ventas de los últimos 10 meses habían aumentado continuamente, junto con las ganancias. Las encuestas de seguimiento realizadas entre los clientes indicaban un alto nivel de satisfacción con las pizzas, por sus precios razonables y el rápido servicio de reparto. Sin embargo, Kershaw comprendió que ese éxito había traído consigo otros desafíos.

La demanda de pizzas impuso grandes presiones sobre las instalaciones del local de venta de alimentos a la parrilla. Inicialmente, se quitó espacio a otras actividades para crear áreas reservadas para el horno, la preparación y el almacenamiento momentáneo de pizzas. A medida que fue creciendo la demanda, lo mismo ocurrió con la necesidad de espacio y equipo. La capacidad del equipo existente y el espacio asignado para preparar y hornear las pizzas ponto se volvieron insuficientes para satisfacer la demanda, y las entregas empezaron a retrasarse. Para agravar el problema, grupos de clientes empezaron a pedir pizzas en grandes volúmenes para diversas funciones dentro del campus.

Finalmente, un examen más detallado de los datos de ventas mostró que la venta de pizzas había empezado a dejar de crecer. Kershaw se preguntó si la causa de esto sería el problema de la capacidad y el aumento resultante en los tiempos de entrega. Sin embargo, algo más le preocupaba. En una conversación reciente, Mack Kenzie, el supervisor del local para la venta de alimentos a la parrilla, le comentó que en los dos últimos meses habían aumentado constantemente las solicitudes de combinaciones e ingredientes no incluidos en el menú. Ella se preguntó entonces si su mercado del campus se estaría viendo afectado por la "guerra de las pizzas" fuera de éste y por la proliferación de pizzas especiales.

El nuevo desafío

Sentada en su oficina, Kershaw meditaba sobre el anuncio de ayer acerca del nuevo comedor. Esto traería como consecuencia más competencia de otros tipos de bocadillos (Dunkin' Donuts) y comida rápida (Taco Bell). Lo más preocupante era que Pizza Hut abriría un local en el que serviría un menú limitado y ofrecería una selección limitada de pizzas con el sistema de mostrador. No se aceptarían pedidos por teléfono ni habría servicio de entrega a domicilio.

Kershaw consideró varias preguntas cruciales: ¿Por qué se había estancado la demanda de pizzas? ¿Qué impacto produciría el nuevo comedor en sus operaciones? ¿Sería conveniente que ella expandiera su negocio de pizzas? De ser así, ¿cómo podría hacerlo?

PREGUNTAS

1. ¿BSB, Inc., tiene ventajas competitivas o competencias centrales?
2. Inicialmente, ¿cómo decidió Renee Kershaw utilizar los recursos de su negocio de pizzas para competir con la venta de alimentos fuera del campus? ¿Cuáles fueron sus prioridades competitivas?
3. ¿Qué impacto tendrán los nuevos servicios de alimentos en las operaciones del negocio de pizzas de Kershaw? ¿Qué prioridades competitivas podría elegir ahora para concentrar su atención?
4. Si decidiera cambiar las prioridades competitivas del negocio de pizzas, ¿qué brechas hay entre las prioridades y las capacidades de los procesos? ¿Cómo afectaría eso sus decisiones sobre los procesos de operación y la capacidad?
5. ¿Cuál sería una buena estrategia de servicio para que las operaciones de Kershaw en el campus puedan hacer frente a la competencia del futuro comedor?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Berry, W. L., C. Bozarth, T. Hill y J. E. Klompmaker, "Factory Focus: Segmenting Markets from an Operations Perspective", *Journal of Operations Management,* volumen 10, número 3 (1991), pp. 363–387.

Blackburn, Joseph, *Time-Based Competition: The Next Battle-Ground in American Manufacturing,* Homewood, IL, Business One-Irwin, 1991.

Collier, David A., *The Service Quality Solution,* Milwaukee, ASQC Quality Press, y Burr Ridge, IL, Irwin Professional Publishing, 1994.

Fitzsimmons, James A. y Mona Fitzsimmons, *Service Management for Competitive Advantage,* Nueva York, McGraw-Hill, 2001.

Gilmore, James H. y B. Joseph Pine II, "The Four Faces of Mass Customization", *Harvard Business Review,* volumen 75, número 1 (1997), pp. 91–101.

Goldstein, Susan Meyer, Robert Johnson, JoAnn Duffy y Jay Rao, "The Service Concept: The Missing Link in Service Design Research?", *Journal of Operations Management,* volumen 20 (2002), pp. 121–134.

Hammer, Michael y Steven Stanton, "How Process Enterprises Really Work", *Harvard Business Review,* noviembre-diciembre de 1999, pp. 108–120.

Hayes, Robert H. y G. P. Pisano, "Manufacturing Strategy: At the Intersection of Two Paradigm Shifts", *Production and Operations Management,* volumen 5, número 1 (1996), pp. 25–41.

Hayes, Robert H., Gary P. Pisano, David M. Upton y Steven C. Wheelwright, *Operations, Strategy, and Technology: Pursuing the Competitive Edge,* Nueva York, Wiley, 2004.

Heim, Gregory R. y Kingshuk K. Sinha, "Service Process Configurations in Electronic Retailing: A Taxonomic Analysis of Electronic Food Retailers", *Production and Operations Management,* volumen 11, número 1 (primavera de 2002), pp. 54–74.

Heskett, James L. y Leonard A. Schlesenger, "The Service-Driven Service Company", *Harvard Business Review,* septiembre-octubre de 1991, pp. 71–81.

Hill, Terry, *Manufacturing Strategy: Text and Cases,* 3a. edición, Homewood, IL, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Jack, Eric P. y Thomas L. Powers, "Volume Flexible Strategies in Health Services: A Research Framework", *Production and Operations Management,* volumen 13, número 3 (2004), pp. 230–244.

Kellogg, Deborah L. y Winter Nie, "A Framework for Strategic Service Management", *Journal of Operations Management,* volumen 13 (1995), pp. 323–337.

Menor, Larry J., Mohan V. Tatikonda y Scott E. Sampson, "New Service Development: Areas for Exploitation and Exploration", *Journal of Operations Management,* volumen 20 (2002), pp. 135–157.

O'Reilly, Brian, "They've Got Mail!", *Fortune,* 7 de febrero de 2000, pp. 101–112.

Prahalad, C. K. y Venkatram Ramaswamy, "Co-opting Customer Competence", *Harvard Business Review,* enero–febrero de 2000, pp. 79–87.

Rayport, Jeffrey F. y Bernard J. Jaworski, "Best Face Forward", *Harvard Business Review,* volumen 82, número 12 (2003), pp. 47–58.

Roth, Aleda V. y Marjolijn van der Velde. "Operations As Marketing: A Competitive Service Strategy", *Journal of Operations Management,* volumen 10, número 3 (1993), pp. 303–328.

Safizadeh, M. H., L. P. Ritzman, D. Sharma y C. Wood, "An Empirical Analysis of the Product–Process Matrix", *Management Science,* volumen 42, número 11 (1996), pp. 1576–1591.

Skinner, Wickham, "Manufacturing Strategy on the 'S' Curve", *Production and Operations Management,* volumen 5, número 1 (1996), pp. 3–14.

Stalk, George, Jr., P. Evans y P. E. Schulman, "Competing on Capabilities: The New Rules of Corporate Strategy", *Harvard Business Review,* marzo-abril de 1992, pp. 57–69.

Vickery, S. K., C. Droge y R. E.Markland, "Production Competence and Business Strategy: Do They Affect Business Performance?", *Decision Sciences,* volumen 24, número 2 (1993), pp. 435–456.

Ward, Peter T. y Rebecca Duray, "Manufacturing Strategy in Context: Environment, Competitive Strategy and Manufacturing Strategy", *Journal of Operations Management,* volumen 18 (2000), pp. 123–138.

Ward, Peter T., Deborah J. Bickford y G. Keong Leong, "Configurations of Manufacturing Strategy, Business Strategy, Environment and Structure", *Journal of Management,* volumen 22, número 4 (1996), pp. 597–626.

Wheelwright, Steven C. y H. Kent Bowen, "The Challenge of Manufacturing Advantage", *Production and Operations Management,* volumen 5, número 1 (1996), pp. 59–77.

Womack, J. P., D. T. Jones y D. Roos, *The Machine That Changed the World,* Nueva York, Rawson Associates, 1990.

3

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir las principales actividades que intervienen en la definición, organización, planificación, supervisión y control de proyectos.
2. Identificar la secuencia de actividades críticas que determinan la duración de un proyecto.
3. Definir las opciones que están a disposición de los gerentes de proyecto para mitigar los problemas de recursos.
4. Representar, mediante un diagrama, la red de actividades interrelacionadas en un proyecto.
5. Describir las consideraciones que los gerentes hacen para evaluar los riesgos de un proyecto y calcular la probabilidad de terminar oportunamente un proyecto.
6. Explicar cómo se determina un programa para que el proyecto tenga el costo mínimo.



Trabajadores de Bechtel construyen una planta de Motorola para la fabricación de semiconductores en Tianjin, China. Bechtel fue la primera compañía estadounidense a la que se otorgó una licencia de construcción en China.

CAPÍTULO 3

Administración de proyectos

BECHTEL GROUP, INC.

Bechtel Group, Inc., es una compañía constructora cuyos ingresos ascienden a 16,300 millones de dólares anuales, que se especializa en proyectos grandes. Fundada hace más de un siglo, la prestigiada empresa encabezó el consorcio Six Companies, que construyó la Presa Hoover a principios del siglo XX y desde entonces ha construido numerosos sistemas ferroviarios, refinerías, aeropuertos y centrales de energía. Bechtel dirigió la reconstrucción de la infraestructura de petróleo y gas de Kuwait después de la Tormenta del Desierto y fue la primera empresa estadounidense a la que se otorgó una licencia de construcción en China. Esto le permitió trabajar con Motorola en una serie de proyectos, entre ellos, la construcción de un complejo manufacturero ultramoderno para la producción de semiconductores en Tianjin.

Los clientes de Bechtel la eligen por su capacidad para entregar los proyectos oportunamente. También la eligen debido a la velocidad de entrega. Por ejemplo, en la planta de energía nuclear Kewaunee en Wisconsin se necesitaba cambiar los dos generadores de vapor, un problema común en las centrales nucleares antiguas. Los trabajadores de Bechtel cortaron los domos de los generadores, renovaron los domos, llevaron e instalaron las nuevas unidades inferiores y soldaron todo en su lugar en sólo 71 días, con lo que se redujo el tiempo en que la central Kewaunee estaría fuera de servicio. Muchos de los clientes de Bechtel necesitan montar instalaciones en todo el país o en todo el mundo con plazos de entrega cortos y no tienen tiempo para tratar con contratistas locales. Bechtel satisface sus necesidades.

Por cada proyecto de gran envergadura que emprende, Bechtel debe organizar un equipo del proyecto y proporcionarle los sistemas auxiliares de información y los recursos, pensando en la entrega oportuna y los plazos de entrega cortos. Debido a la complejidad de muchos proyectos en curso con distintas necesidades, los equipos tienen que ser suficientemente flexibles para responder a los cambios en los programas o requerimientos. La comunicación



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

es un problema grave; una hoja de papel demora en promedio cinco días en llegar de las oficinas de Bechtel en Singapur a un proyecto en Tailandia. Los documentos, que varían entre solicitudes rutinarias de información y planos arquitectónicos detallados, pueden sufrir retrasos innecesarios cuando hay que copiarlos y enviarlos por fax o por correo, lo que a su vez demora las decisiones y alarga el proyecto.

Bechtel inició un sistema de comunicaciones basado en la Web que proporciona acceso electrónico a la información del proyecto. Los integrantes del equipo del proyecto tienen acceso a los programas, informes de avances, planos y mensajes en un sitio Web sin depender de los faxes. Las decisiones sobre diversos aspectos pueden tomarse con rapidez, lo que refuerza las prioridades competitivas de Bechtel.

Fuente: The Bechtel Report 2003; Bechtel Global Report 2002; www.bechtel.com, 2005.

proyecto

Conjunto de actividades interrelacionadas con puntos definidos de principio y fin, que produce un resultado único para una asignación específica de recursos.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Rendimiento y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas racionalizados

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de la cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

Las compañías como Bechtel son expertas en la administración del proyecto. Dominan la habilidad de programar actividades y supervisar los avances dentro de estrictas normas de tiempo, costo y desempeño. Un **proyecto** es un conjunto de actividades interrelacionadas con puntos definidos de principio y fin, que produce un resultado único para una asignación específica de recursos.

Los proyectos son comunes en la vida diaria, así como en los negocios. Planificar bodas, remodelar cuartos de baño, escribir ensayos y organizar fiestas sorpresa son ejemplos de proyectos pequeños en la vida diaria. Realizar auditorías de empresas, planificar fusiones, crear campañas de publicidad, aplicar reingeniería a los procesos, desarrollar nuevos servicios o productos y establecer una alianza estratégica son ejemplos de proyectos grandes en las empresas.

Las tres metas principales de todo proyecto son: (1) terminar el proyecto oportuna o anticipadamente; (2) no rebasar el presupuesto, y (3) cumplir con las especificaciones para la satisfacción del cliente. Cuando es preciso emprender proyectos en condiciones de incertidumbre, no está de sobra tener cierta flexibilidad con respecto a la disponibilidad de los recursos, plazos establecidos y presupuestos. En consecuencia, es complejo y difícil administrar los proyectos.

Con frecuencia, éstos cruzan las líneas divisorias de la organización porque requieren las habilidades de muchas profesiones y organizaciones. Además, cada proyecto es único, aun cuando se trate de algo rutinario, y requiere nuevas combinaciones de habilidades y recursos en el proceso del mismo. Por ejemplo, los proyectos para agregar una nueva sucursal, instalar nuevas computadoras en un departamento o idear una promoción de ventas pueden iniciarse varias veces al año. Cada proyecto puede haberse realizado muchas veces antes; sin embargo, surgirán diferencias cada vez. Los factores de incertidumbre, como el advenimiento de nuevas tecnologías o las actividades de los competidores, llegan a modificar el carácter de los proyectos y requieren la adopción de medidas que respondan a dichos cambios. Por último, los proyectos son temporales porque el personal, los materiales y las instalaciones se organizan para terminarlos dentro de un periodo específico, después del cual vuelen a dispersarse.

Los proyectos pueden usarse para implementar cambios en los procesos y en las cadenas de valor. Por ejemplo, los proyectos que implican la implementación de tecnologías informáticas importantes pueden afectar a todos los procesos centrales y de apoyo de empresa, así como algunos de los procesos de sus proveedores y clientes. Como tales, los proyectos son una herramienta útil para mejorar los procesos y las cadenas de valor.

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS EN LA ORGANIZACIÓN

El uso de proyectos para realizar cambios en los procesos y cadenas de valor está muy extendido en todos los tipos de organizaciones y disciplinas. A menudo, los gerentes deben colaborar con sus homólogos de otros departamentos en iniciativas estratégicas, además de trabajar en proyectos más pequeños dentro de sus propios departamentos.

USO DE LOS PROYECTOS PARA IMPLEMENTAR LA ESTRATEGIA DE OPERACIONES

Considere una empresa de servicios financieros cuyos clientes se están yendo con sus principales competidores. Después de un examen cuidadoso de la situación, el equipo de alta dirección recomendó al consejo de administración que la empresa mejorara la atención que brinda a los clientes, reduciendo los errores en los informes que genera, aumentando la variedad de informes que ofrece y agilizando la entrega de los servicios. La estrategia, llamada Iniciativa de atención al cliente, tenía el propósito de prestar servicios mejorados más rápidamente que los competidores a fin de atraer a los clientes. Al jefe del departamento de servicios se le encomendó la tarea de elaborar los nuevos informes y se pidió a los jefes de los otros departamentos que buscaran la manera de reducir los errores en los informes y el tiempo necesario para entregarlos a los clientes dentro del ámbito de sus respectivos departamentos. Al cabo de dos años, se abandonó la Iniciativa de atención al cliente.

Razones del fracaso ¿Por qué fracasó la iniciativa? Las iniciativas estratégicas tienden a disiparse después de haber sido implementadas por los gerentes de línea y el personal debido a la inercia de la organización para implementar el cambio estratégico.[1] La implementación de las iniciativas estratégicas puede verse entorpecida debido a que cada departamento evalúa su propia forma de contribuir a la estrategia, la cual suele ser incremental cuando se requiere un cambio más arriesgado y radical en la manera como el departamento realiza el trabajo. Dicho cambio requiere que los gerentes conciban y acepten nuevas prácticas, algo difícil de hacer debido a que las prácticas actuales se han desarrollado a través del tiempo y reflejan la forma actual en que opera la organización. Como descubrió la empresa de servicios financieros, cuando se reparten las responsabilidades de la implementación de una estrategia entre los diferentes departamentos, hay muchas probabilidades de que ésta acabe en el fracaso.

Implementación de la estrategia de operaciones ¿Cuál es la mejor manera de implementar la estrategia de operaciones? El reto consiste en administrar los cambios requeridos en los procesos y en las cadenas de valor fuera de la burocracia, procedimientos y normas tradicionales de la organización. La **administración de proyectos**, que es un método sistematizado y progresivo para definir, organizar, planificar, monitorear y controlar los proyectos, es una forma de superar ese reto. En lo que queda de este capítulo, se dará cuenta de que la administración de proyectos proporciona una metodología imparcial para planificar y emprender las actividades necesarias para implementar una iniciativa estratégica. Se organizan equipos interfuncionales, se asignan responsabilidades, se definen los programas y se establecen controles, todo lo cual contribuye a superar los problemas de disipación.

administración de proyectos
Método sistematizado y progresivo para definir, organizar, planificar, monitorear y controlar los proyectos.

Los proyectos, y la aplicación de la administración de proyectos, facilitan la implementación de la estrategia de operaciones. Sin embargo, la eficacia de este método va más allá del enfoque en un solo proyecto. Las iniciativas estratégicas de operaciones a menudo requieren la coordinación de muchos proyectos interdependientes. En el ejemplo de la empresa de servicios financieros, la Iniciativa de atención al cliente podría tener proyectos como: (1) determinar los informes financieros que ofrece la competencia; (2) diseñar y desarrollar nuevos servicios informativos; (3) analizar, rediseñar e implementar cambios en el proceso de generación de informes para reducir los errores y mejorar la velocidad de entrega, y (4) desarrollar e implementar una nueva interfaz Web para llegar a nuevos clientes y facilitar la entrega de informes. Este grupo de proyectos se llama **programa**, que es un conjunto de proyectos interdependientes que tienen un propósito estratégico común. A medida que se presentan nuevas propuestas de proyectos, la gerencia debe evaluar cómo se adecuan a la estrategia actual de operaciones y a las iniciativas en curso, y contar con un medio para decidir su prioridad porque los fondos para proyectos a menudo son limitados.[2]

programa
Conjunto de proyectos interdependientes que tienen un propósito estratégico común.

INTERACCIÓN DE LAS DIFERENTES FUNCIONES

Aun cuando un proyecto puede ubicarse dentro del ámbito general de competencia de un solo departamento, es probable que otros departamentos participen también en el proyecto. Por ejemplo, considere un proyecto de sistemas de información para crear una base de datos de los clientes corporativos de un banco. Muchos de éstos son corporaciones grandes que requieren servicios que abarcan a varios departamentos del banco. Debido a que ningún departamento del banco conocía con exactitud qué servicios recibía un cliente corporativo de los otros departamentos, el

[1]Véase el artículo de Sergio Pellegrinelli y Cliff Bowman, "Implementing Strategy Through Projects", *Long Range Planning*, volumen 27, número 4 (1994), pp. 125-132, que contiene más información sobre el tema de esta sección.
[2]Este método se denomina *Proceso de portafolio de proyectos*. Véase Samuel J. Mantel, Jr., Jack R. Meredith, Scott M. Shafer y Margaret M. Sutton, *Project Management in Practice*, 2a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 2005, pp. 26-30.

proyecto consolidaría la información sobre los clientes corporativos de muchas áreas del banco en una base de datos. A partir de esta información se podrían diseñar servicios de banca corporativa no sólo para atender mejor a los clientes corporativos, sino también para proporcionar una base para evaluar los precios que cobra el banco. El área de marketing está interesada en conocer todos los servicios que un cliente recibe para poder combinarlos en un paquete y venderle otros servicios que tal vez no conozca. Al área de finanzas le interesa conocer la rentabilidad del cliente para el banco y si los servicios proporcionados se cobran al precio adecuado. El equipo del proyecto, dirigido por el departamento de sistemas de información, debe integrarse con representantes de los departamentos de marketing y finanzas, que tienen un interés directo en los clientes corporativos. Todos los departamentos de una empresa se benefician de las buenas prácticas de administración de proyectos, aun cuando los proyectos permanezcan dentro del campo de competencia de un solo departamento.

> DEFINICIÓN Y ORGANIZACIÓN DE PROYECTOS <

Los proyectos exitosos inician con una clara definición del alcance, objetivos y tareas. También es importante comprender cabalmente su organización y cómo el personal trabajará conjuntamente para finalizar el proyecto. En esta sección se explicarán tres actividades importantes en esta etapa inicial de planificación y administración de proyectos: (1) definir el alcance y los objetivos; (2) seleccionar al gerente y el equipo del proyecto, y (3) seleccionar la estructura organizativa.

DEFINICIÓN DEL ALCANCE Y LOS OBJETIVOS DE UN PROYECTO

Para administrar un proyecto es esencial contar con una declaración minuciosa del alcance, plazo y recursos asignados. Esta declaración se denomina *declaración de objetivos del proyecto.* El alcance consiste en una declaración sucinta de los objetivos del proyecto y capta la esencia de los resultados deseados del proyecto en la forma de los principales productos, que son los resultados concretos del proyecto. Estos productos se convierten en el foco de atención de la gerencia durante la vida del proyecto. Por ejemplo, suponga que una empresa necesita aplicar reingeniería a su proceso de facturación. Los principales productos del proyecto podrían incluir una lista de todos los procesos afectados tanto en la empresa como en las entidades externas a ésta; el rediseño del proceso de facturación; un plan de implementación; un plan de contratación de personal; y un nuevo proceso de facturación plenamente operacional. Cada uno de los productos requiere ciertas actividades para realizarlo; por lo tanto, una vez que se ha puesto en marcha es importante evitar grandes cambios en el alcance del proyecto.

Dichos cambios incrementan inevitablemente los costos y retrasan la conclusión. Por ejemplo, añadir un requisito para recomendar una solución de software de comercio electrónico al proyecto de reingeniería después de que se ha puesto en marcha podría requerir un nuevo análisis de los cambios recomendados a los procesos internos existentes y un consultor para que recomiende un paquete de software. Dicho cambio no sólo retrasará la conclusión del proyecto, sino que aumentará los recursos necesarios para completarlo. Colectivamente, los cambios de alcance se llaman *deformación del alcance* y, en cantidades suficientes, son las causas principales del fracaso de los proyectos.

El plazo de un proyecto debe ser lo más específico posible. Por ejemplo, "el primer trimestre de 2008" es demasiado ambigüo para la mayoría de los propósitos. Algunas personas podrían interpretarlo como el principio y otros, como el final. A pesar de que debe considerarse únicamente como un objetivo en esta etapa temprana del plan del proyecto, el plazo establecido debe ser mucho más específico; por ejemplo, "el proyecto de reingeniería del proceso de facturación debe quedar concluido el 1 de enero de 2008".

Aunque puede ser difícil asignar recursos a un proyecto en las primeras etapas de planificación, es importante para administrar los proyectos. La asignación puede expresarse como una cifra en dólares o como equivalentes del horario de tiempo completo del personal. Por ejemplo, en el proyecto de reingeniería del proceso de facturación, los recursos asignados podrían ascender a 250,000 dólares. Evite expresiones como "con los recursos disponibles", porque son demasiado vagas e implican que hay suficientes recursos para concluir el proyecto cuando tal vez no los haya. Una declaración de los recursos asignados posibilita hacer ajustes en el alcance del proyecto en el curso de éste.

SELECCIÓN DEL GERENTE Y EL EQUIPO DEL PROYECTO

Una vez que se ha seleccionado el proyecto, es necesario elegir un gerente de proyecto. Las cualidades de un buen gerente de proyecto deben reflejar las funciones que éste debe desempeñar.

- *Facilitador.* A menudo, el gerente de proyecto debe resolver conflictos entre personas o departamentos para garantizar que el proyecto cuente con los recursos apropiados para el trabajo que se realizará. Es útil tener una "idea general" como marco de referencia y ser un buen negociador. Los gerentes de proyecto exitosos tienen una *visión sistémica,* que abarca la interacción del proyecto, sus recursos y sus productos con la empresa en su conjunto. Los buenos gerentes de proyecto demuestran *liderazgo* para que los integrantes del equipo y los jefes de los distintos departamentos trabajen para realizar el proyecto como un todo, en lugar de optimizar las partes del proyecto que les corresponden.
- *Comunicador.* El gerente de proyecto es responsable ante la alta dirección y otros interesados en el proyecto. El avance del proyecto y las solicitudes de recursos adicionales deben comunicarse con claridad. Además, el gerente de proyecto debe comunicarse con el equipo del proyecto para obtener el mejor desempeño. Los buenos gerentes de proyecto son *verosímiles* desde la perspectiva del conocimiento técnico, así como del conocimiento administrativo. También ayuda que el gerente de proyecto sea *sensible* a la política de la organización y que esté consciente de los conflictos interpersonales entre los integrantes del equipo.
- *Capaz de tomar decisiones.* El gerente de proyecto debe organizar las reuniones del equipo, especificar cómo se tomarán las decisiones y determinar la naturaleza y oportunidad de los informes para la alta dirección. Las decisiones pueden tomarse por consenso, por mayoría o por el gerente de proyecto. Los buenos gerentes de proyecto son capaces de percibir de qué manera se desempeña mejor el equipo y están preparados para tomar decisiones difíciles en caso necesario.

La selección del equipo del proyecto es tan importante como la selección del gerente de proyecto. Deben tomarse en consideración varias características.

- *Competencia técnica.* Los miembros del equipo deben tener la competencia técnica requerida para las tareas que se les asignarán.
- *Sensibilidad.* También deben ser sensibles ante los conflictos interpersonales que pueden surgir. Los integrantes del equipo con más alto rango deben ser políticamente sensibles para ayudar a mitigar los problemas con la gerencia de nivel superior.
- *Dedicación.* Los miembros del equipo deben sentirse seguros al resolver problemas del proyecto que pueden extenderse a áreas fuera de su pericia inmediata. También deben estar dedicados a concluir el proyecto, en lugar de mantener un horario de trabajo cómodo. Los proyectos mayores pueden requerir un esfuerzo adicional para mantenerse dentro del calendario previsto.

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

La relación del gerente de proyecto con el equipo del proyecto queda determinada por la estructura organizativa de la empresa. Cada uno de los tres tipos de estructura organizativa tiene repercusiones en la administración del proyecto.

- *Funcional.* El proyecto se integra a un área funcional específica, en teoría la que tiene más interés en su realización. El gerente de proyecto tiene que negociar la asistencia del personal de otras áreas funcionales. Sin embargo, la dependencia de otros departamentos reduce al mínimo el control que el gerente del proyecto tiene sobre los tiempos, ya que esos departamentos pueden dar poca prioridad al proyecto. No obstante, la utilización de recursos dentro del departamento del gerente de proyecto se maximiza porque los integrantes del equipo que no trabajan en un proyecto pueden ser asignados a otro en el mismo departamento.
- *Proyecto puro.* Los miembros del equipo trabajan exclusivamente para el gerente en un proyecto determinado. Esta estructura es especialmente eficaz para proyectos grandes en los que hay trabajo suficiente para que cada miembro del equipo se dedique de tiempo completo al proyecto. Aunque esta estructura simplifica las líneas de autoridad para el gerente del proyecto, puede dar lugar a un grado considerable de duplicación de recursos entre las distintas áreas funcionales en el caso de proyectos pequeños. Normalmente, éstos no incluyen trabajo suficiente para mantener ocupados de forma permanente a todos los miembros del equipo. Sería mejor para la empresa que esas personas pudieran trabajar en otros proyectos para ocupar su tiempo libre.
- *Matriz.* La estructura de matriz es un término medio entre la estructura funcional y la de proyecto puro. Los gerentes de los proyectos de la empresa son subordinados de un "gerente de programa" que coordina las necesidades de recursos y tecnológicas a través de las fronteras funcionales. La estructura de matriz permite a cada área funcional mantener control sobre quién trabajará en un proyecto y la tecnología que se usará. Los miembros del equipo nunca tienen que abandonar sus departamentos, como puede ocurrir en la estructura de proyecto puro. La mayoría de los problemas de duplicación de recursos se eliminan. Sin embargo, los miembros del equipo tienen, en efecto, dos jefes: el gerente del proyecto y el gerente del departamento. El gerente de proyecto tiene control sobre las actividades que los miembros del

equipo realizan; el gerente del departamento tiene control sobre las evaluaciones de desempeño y el salario. Para resolver estos conflictos de la "línea de autoridad" se necesita un gerente de programa fuerte.

La Práctica administrativa 3.1 demuestra que la definición y organización de los proyectos cobra importancia crítica cuando se trata de equipos globales.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 3.1 EQUIPOS GLOBALES VIRTUALES EN BAXTER INTERNATIONAL

Baxter International es una empresa de 8,000 millones de dólares que produce servicios y productos para la industria del cuidado de la salud en instalaciones situadas en 22 países del mundo. Baxter produce miles de servicios y productos, como cursos de educación continua por Internet para una amplia variedad de profesionales de la salud, productos y tecnologías para centros de sangre, servicios de transfusión, servicios de terapia intravenosa y vacunas para enfermedades infecciosas graves. Sin embargo, un producto constituyó el vehículo para que Baxter aprendiera algunas lecciones importantes de la administración de proyectos.

BaxHealth es un paquete de software producido por Baxter que se usa para administrar las iniciativas ambientales, de salud y seguridad en las empresas. Cuando la administración decidió desarrollar la siguiente generación del paquete de software, la tarea del equipo de desarrollo del software consistió en crear un producto de alta calidad al menor costo posible y llevarlo al mercado en un periodo corto. Normalmente, el equipo de desarrollo del software habría tenido la capacidad para entregar el proyecto de forma oportuna y dentro del presupuesto; sin embargo, una fusión reciente impuso una fuerte carga al desarrollo de software. Poco después de que se inició el proyecto BaxHealth, se hizo evidente que el equipo del proyecto no podría entregarlo a tiempo.

En una decisión audaz, el equipo consiguió el apoyo de una empresa de desarrollo de software en India. Entonces, una parte del equipo del proyecto trabajó en Deerfield, Illinois, y la otra en Bangalore, India. Se adoptaron disposiciones para transformar a los dos equipos internacionales independientes en un solo equipo de alto desempeño.

- Se estableció la planificación en todos los niveles del proyecto, no sólo en el nivel de conjunto.
- Se establecieron procesos que fomentaran una comunicación continua y abierta entre los integrantes del equipo, para reducir los sesgos y evitar imputaciones de culpa.
- Se definió un proceso riguroso de desarrollo, se impuso disciplina y se proporcionó liderazgo durante todo el proyecto, con el fin de garantizar que se emplearían los mismos procedimientos de planificación y administración en todas partes.
- Se establecieron metas claras y mensurables tanto para el equipo como individuales.
- Se elaboró un plan y un programa integrados del proyecto que reflejaban todas las exigencias de tiempo que tenían que cumplir los miembros del equipo, incluso aquellos que no pertenecían al proyecto BaxHealth.

Las comunicaciones se volvieron un elemento crucial para el éxito del proyecto. Había que considerar las diferencias de idioma, reglamentaciones internacionales, cultura y husos horarios. Cada semana, el equipo de administración informaba a todos los integrantes del equipo del estado que guardaba el proyecto con respecto a las metas, riesgos y avances. Puesto que el equipo se hallaba separado en diversos países, no existía la opción de encontrarse en el pasillo a discutir los problemas. El correo electrónico, el fax, las páginas Web y el teléfono tenían que satisfacer la necesidad de comunicación. En muchos sentidos, el equipo del proyecto BaxHealth era un equipo virtual.



Baxter International produce bienes para la industria del cuidado de la salud. La empresa ha aprendido a usar equipos globales virtuales para administrar proyectos en los que participan miembros del equipo situados en diferentes partes del mundo.

El paquete de software Baxhealth se rediseñó y lanzó en 18 meses, dentro de lo previsto. Baxter aprendió que la administración de equipos globales virtuales requiere de principios sólidos de administración de proyectos, una comunicación excelente con todo el equipo global y el acuerdo de todos para seguir el mismo proceso. El método requiere paciencia y responsabilidad personal de todos los miembros del equipo. No obstante, después de concluido el proyecto, Baxter examinó el proceso de desarrollo de productos para mejorarlo. Por ejemplo, el equipo se enteró de que habría sido mejor que el equipo de desarrollo de Bangalore trabajara con el equipo de Deerfield en Illinois en las primeras etapas del proyecto para reducir el tiempo necesario para crear el espíritu de "un solo equipo". Se identificaron muchas otras posibles mejoras que se incorporarán en los futuros proyectos de desarrollo.

Fuente: Robert J. Seguy, Mary Ann Latko, Jay Balma y Errol Jones, "Virtual Global Teaming: Baxter International Builds a Successful Model," *Target,* segundo trimestre de 2002, pp. 23–31; www.baxter.com (2003).

PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS

Después de que se ha definido y organizado el proyecto, el equipo debe formular un plan que identifique las tareas específicas que habrán de cumplirse y un programa para su realización. La planificación de proyectos comprende cinco pasos: (1) *definir la estructura de división del trabajo;* (2) *elaborar el diagrama de la red;* (3) *establecer el programa;* (4) *analizar si debe sacrificarse costo por tiempo o viceversa,* y (5) *evaluar los riesgos.*

DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE DIVISIÓN DEL TRABAJO

La **estructura de división del trabajo (WBS)** (del inglés *work breakdown structure)* es una declaración de todo el trabajo que tiene que realizarse. Quizá el factor más importante que contribuye a los retrasos es la omisión del trabajo que guarda relación con la conclusión exitosa del proyecto. El gerente de proyecto debe trabajar en colaboración estrecha con el equipo para identificar todas las tareas de trabajo. Normalmente, en el proceso de acumulación de las tareas, el equipo genera una jerarquía para la división del trabajo. El equipo del proyecto divide los principales componentes del trabajo en tareas más pequeñas. La figura 3.1 muestra una WBS para la puesta en marcha de una nueva empresa. Las actividades del nivel 1 son los principales componentes del trabajo que pueden dividirse en tareas más pequeñas. Por ejemplo, "proceder con el plan de puesta en marcha" puede dividirse en tres tareas en el nivel 2, y "establecer la estructura de la empresa" puede subdividirse en cinco tareas en el nivel 3. Es fácil concluir que la WBS total para poner en marcha una nueva empresa puede incluir más de 100 tareas. Independientemente del proyecto, debe tenerse mucho cuidado de incluir todas las tareas importantes en la WBS para evitar retrasos en el proyecto. A menudo se pasan por alto las tareas requeridas para planificar el proyecto, obtener la aprobación de la gerencia en varias etapas, realizar pruebas piloto de los nuevos servicios o productos y preparar los informes finales.

estructura de división del trabajo (WBS)
Declaración de todo el trabajo que tiene que realizarse.

Una **actividad** es la unidad más pequeña de esfuerzo de trabajo que consume tiempo y recursos que el gerente de proyecto puede programar y controlar. Cada actividad de la WBS debe tener un "propietario" que será responsable de realizar el trabajo. La *propiedad de las tareas* evita confusiones en la ejecución de las actividades y asigna responsabilidad por la conclusión oportuna. El equipo debe tener un procedimiento definido para asignar tareas a los integrantes, el cual puede ser democrático (consenso del equipo) o autocrático (asignado por el gerente del proyecto).

actividad
La unidad más pequeña de esfuerzo de trabajo que consume tiempo y recursos que el gerente de proyecto puede programar y controlar.

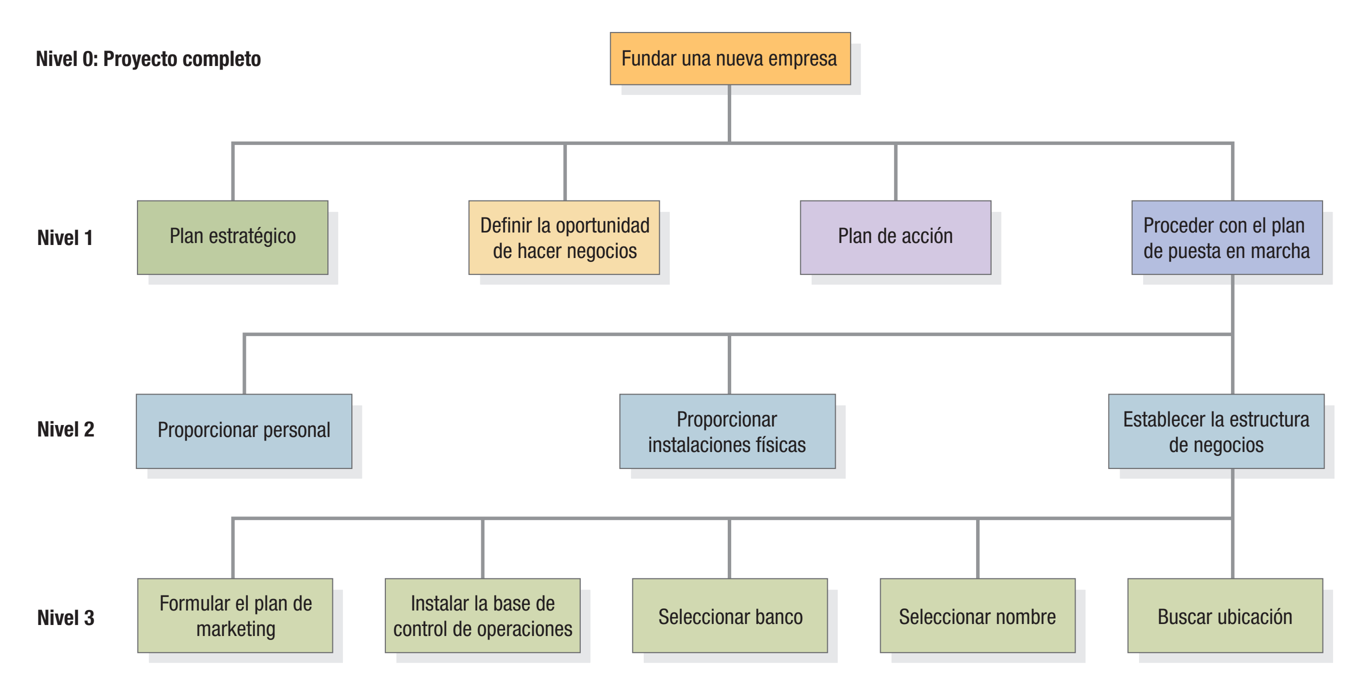


FIGURA 3.1 Estructura de división del trabajo de una nueva empresa.
Fuente: Resumido de la plantilla de MS Project 2000 para una nueva empresa.

diagrama de red
Método de planificación de red, diseñado para describir las relaciones entre las actividades, el cual está formado por nodos (círculos) y arcos (flechas).

técnica de evaluación y revisión de programas (PERT)
Método de planificación de red creado para el proyecto del misil Polaris de la Marina de Estados Unidos en la década de 1950, en el que participaron 3,000 contratistas y proveedores diferentes.

método de ruta crítica (CPM)
Método de planificación de red desarrollado en la década de 1950 como procedimiento para programar los periodos de suspensión de actividades a fin de realizar operaciones de mantenimiento en plantas procesadoras de productos químicos.

ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE RED

Los métodos de planificación de la red ayudan a los gerentes a supervisar y controlar los proyectos. Dichos métodos consideran el proyecto como un conjunto de actividades relacionadas entre sí, que pueden representarse en forma visual mediante un **diagrama de red,** el cual está formado por nodos (círculos) y arcos (flechas) que describen las relaciones entre las actividades. En la década de 1950 se desarrollaron dos métodos de planificación de red. La **técnica de evaluación y revisión de programas (PERT)** (del inglés *program evaluation and review technique)* fue creada para el proyecto del misil Polaris de la Marina de Estados Unidos, en el que participaron 3,000 contratistas y proveedores diferentes. El **método de ruta crítica (CPM)** (del inglés *critical path method)* fue desarrollado como procedimiento para programar los periodos de suspensión de actividades a fin de realizar operaciones de mantenimiento en plantas procesadoras de productos químicos. Aunque las primeras versiones de PERT y CPM diferían en el tratamiento de sus estimaciones del tiempo de actividad, en la actualidad las diferencias entre ambas técnicas son mínimas. Para efectos de nuestra discusión, nos referiremos a ellas colectivamente como PERT/CPM. Estos métodos ofrecen varias ventajas a los gerentes de proyecto, entre las cuales figuran las siguientes:

1. Cuando los proyectos se consideran como redes, los equipos de proyecto se obligan a identificar y organizar los datos requeridos e identificar las interrelaciones entre las actividades. Además, este proceso proporciona un foro para que los gerentes de distintas áreas funcionales analicen el carácter de las diversas actividades y las necesidades de recursos para cada una de ellas.

AON	Relaciones entre actividades
S → T → U	S precede a T, que a su vez precede a U.
S → U; T → U	S y T deberán completarse antes de que U pueda iniciarse.
S → T; S → U	Ni T ni U podrán empezar sino hasta que S haya sido completada.
S → U; S → V; T → U; T → V	Ni U ni V podrán empezar sino hasta que S y T hayan sido completadas.
S → U; T → U; T → V	U no podrá empezar sino hasta que S y T hayan sido completadas; V no podrá empezar sino hasta que T haya sido completada.
S → T → V; S → U → V	Ni T ni U podrán empezar sino hasta que S haya sido completada; V no podrá empezar sino hasta que tanto T como U hayan sido completadas.

FIGURA 3.2
Diagrama de relaciones entre actividades

2. Las redes permiten a los gerentes estimar el tiempo de terminación de los proyectos, lo que representa una ventaja que puede ser útil para planificar otros sucesos y realizar negociaciones contractuales con clientes y proveedores.
3. Los informes ponen de relieve las actividades que son cruciales para completar el proyecto dentro del plazo establecido. También subrayan las actividades que pueden retrasarse sin afectar las fechas de terminación, lo cual permite liberar algunos recursos para dedicarlos a otras actividades críticas.
4. Los métodos de red permiten a los gerentes de proyecto analizar las repercusiones de los trueques de unos recursos por otros en los tiempos y costos.

Establecimiento de relaciones de precedencia Para elaborar el diagrama de red del proyecto, es necesario establecer las relaciones de precedencia entre las actividades. Una **relación de precedencia** determina la secuencia en que deben realizarse las actividades; especifica que una actividad no podrá empezar mientras otra actividad precedente no haya sido completada. Por ejemplo, el comité del programa debe diseñar primero los folletos para anunciar una conferencia de ejecutivos (actividad A) para después poder imprimirlos (actividad B). En otras palabras, la actividad A debe *preceder* a la actividad B. En el caso de proyectos grandes, esta tarea es esencial porque las relaciones de precedencia incorrectas u omitidas provocan retrasos costosos. Las relaciones de precedencia se representan por medio de un diagrama de red.

relación de precedencia
Relación que determina la secuencia en que deben realizarse las actividades; especifica que una actividad no podrá empezar mientras otra actividad precedente no haya sido completada.

Uso del método de actividades en nodos El método que se sigue en este texto se llama **red de actividades en nodos (AON)** (del inglés *activity-on-node network),* en la cual los nodos representan las actividades y los arcos representan las relaciones de precedencia entre ellas. Las relaciones de precedencia requieren que una actividad no comience sino hasta que todas las actividades precedentes hayan sido completadas. Se pueden utilizar algunas convenciones para la elaboración de diagramas de las redes AON. En el caso de varias actividades sin predecesores, es habitual mostrarlas de forma que emanen de un nodo común llamado *inicio*. Para varias actividades sin sucesores, lo habitual es mostrarlas conectadas a un nodo llamado *fin*. La figura 3.2 (p. 76) muestra cómo elaborar el diagrama de varias relaciones entre actividades que se encuentran comúnmente.

red de actividades en nodos (AON)
Método empleado para crear un diagrama de red, en el cual los nodos representan las actividades y los arcos representan las relaciones de precedencia entre ellas.

Elaboración del diagrama de un proyecto para un hospital — EJEMPLO 3.1

St. Adolf's Hospital es un hospital privado que inició sus servicios hace 30 años. Judy Kramer, directora ejecutiva del consejo directivo de St. Adolf's, emprendió una evaluación estratégica del paquete de servicios del hospital para identificar las brechas en la capacidad para ofrecer servicio de calidad superior. El estudio reveló una brecha en la capacidad del hospital para ofrecer el nivel de servicio que requiere la comunidad, en especial debido a la falta de espacio en camas y las instalaciones del laboratorio, pequeñas e ineficientes. Sin embargo, la ampliación en el edificio que ocupa actualmente es imposible.

Con el propósito de atender mejor al público en el condado Benjamin, el consejo directivo de St. Adolf's Hospital ha decidido trasladarse de Christofer a Northville. El traslado a Northville implicará construir un nuevo hospital y equiparlo para hacerlo funcional. Judy Kramer debe prepararse para una audiencia, que está prevista para la semana siguiente, en la que expondrá el proyecto propuesto ante el Consejo de Hospitales de la Región Central de Ohio (COHB). En esta audiencia se discutirán los detalles específicos de todo el proyecto, que incluyen las estimaciones de tiempo y costo hasta su terminación.

Con la ayuda de su equipo, Kramer ha elaborado una WBS que costa de 11 actividades principales para el proyecto. A cada miembro del equipo se le asignó la responsabilidad de ciertas actividades y Kramer asumirá la responsabilidad total como gerente de proyecto. El equipo también ha especificado los predecesores inmediatos correspondientes a cada actividad (las actividades que deberán completarse para que la actividad en cuestión pueda comenzar), como se muestra en la tabla siguiente:

Actividad	Descripción	Predecesor(es) inmediato(s)	Responsabilidad
A	Seleccionar personal administrativo y médico	—	Johnson
B	Seleccionar el lugar y realizar un levantamiento topográfico del mismo	—	Taylor
C	Seleccionar el equipo	A	Adams
D	Preparar los planos definitivos de construcción y distribución física	B	Taylor
E	Llevar los servicios públicos al predio	B	Burton
F	Entrevistar candidatos para ocupar las plazas de enfermería, personal de apoyo, mantenimiento y seguridad	A	Johnson

(*continúa*)

Actividad	Descripción	Predecesor(es) inmediato(s)	Responsabilidad
G	Comprar equipo y supervisar la entrega del mismo	C	Adarns
H	Construir el hospital	D	Taylor
I	Desarrollar un sistema de información	A	Simmons
J	Instalar el equipo	E, G, H	Adams
K	Capacitar al personal de enfermería y de apoyo	F, I, J	Johnson

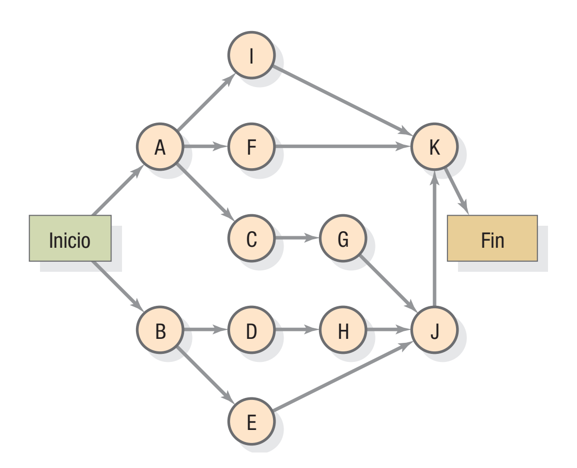
Trace el diagrama de red para el proyecto del hospital.

SOLUCIÓN

El diagrama de red para el proyecto del hospital, basado en las 11 actividades definidas por Kramer y sus relaciones de precedencia, se muestra en la figura 3.3. En ella, las actividades se representan como círculos, con flechas que indican la secuencia en la que deberán llevarse a cabo. Las actividades A y B emanan de un nodo *inicio* porque no tienen predecesores inmediatos. Las flechas que conectan la actividad A con las actividades C, F e I indican que las tres requieren que la actividad A quede concluida antes de que éstas puedan comenzar. Asimismo, la actividad B deberá completarse antes de que las actividades D y E puedan empezar, y así sucesivamente. La actividad K está conectada con el nodo *fin* porque no hay más actividades por realizar después de ella. Los nodos de inicio y fin no representan actividades en realidad, pues solamente constituyen los puntos de inicio y terminación de la red.

FIGURA 3.3

Diagrama de red para el proyecto de St. Adolf's Hospital



DESARROLLO DEL PROGRAMA

A continuación, el equipo del proyecto debe realizar estimaciones de tiempo para las distintas actividades. Cuando el mismo tipo de actividad se ha realizado muchas veces con anterioridad, es probable que las estimaciones de tiempo tengan un grado de certidumbre relativamente alto. Hay varios métodos que pueden seguirse para obtener estimaciones de tiempo en un entorno así. Primero, se pueden usar métodos estadísticos si el equipo del proyecto tiene acceso a datos sobre los tiempos reales de las actividades que se han experimentado en el pasado (véase el suplemento H, "Medición de tasas de producción", en el CD-ROM del estudiante, en inglés). Segundo, si los tiempos de las actividades mejoran cada vez que se éstas se repiten, se pueden estimar los tiempos con modelos de curva de aprendizaje (véase el suplemento G, "Análisis de las curvas de aprendizaje", en el CD-ROM del estudiante). Por último, los tiempos para las actividades que se realizarán por primera vez suelen estimarse usando opiniones de la gerencia con base en experiencias anteriores similares (véase el capítulo 13, "Pronósticos"). Si los estimados implican un alto grado de incertidumbre, se pueden usar distribuciones de las probabilidades para los tiempos de las actividades. Más adelante, cuando se hable de la evaluación de riesgos, se explicarán dos métodos para incorporar la incertidumbre en las redes de proyectos. Por ahora, supondremos que los tiempos de las actividades se conocen con certeza. La figura 3.4 muestra el tiempo estimado en semanas para cada actividad del proyecto de St. Adolf's Hospital.

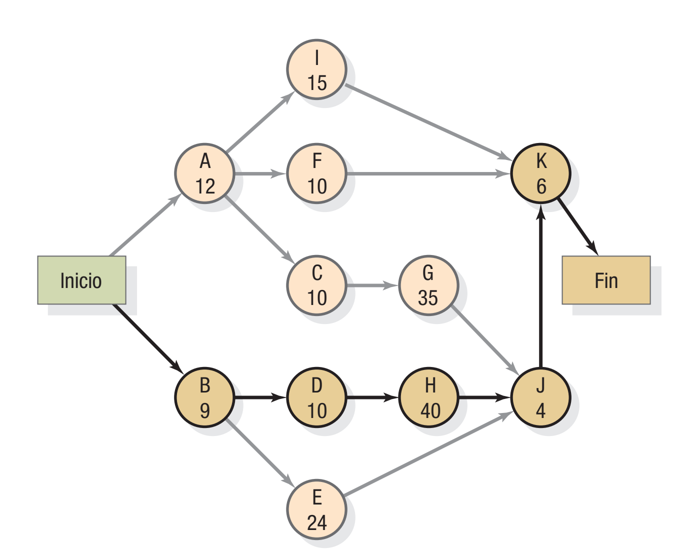


FIGURA 3.4

Red que muestra los tiempos de las actividades del proyecto de St. Adolf's Hospital

Un aspecto crucial de la administración de proyectos es estimar el tiempo de terminación. Si cada una de las actividades que requiere el traslado del hospital se realizara en secuencia, y el trabajo se llevara a cabo con sólo una actividad a la vez, el tiempo de terminación sería igual a la suma de los tiempos de todas las actividades, es decir, 175 semanas. Sin embargo, la figura 3.4 indica que algunas de esas actividades pueden realizarse simultáneamente si se cuenta con los recursos suficientes. A cada secuencia de actividades entre el principio y el final de un proyecto se le llama **ruta**. La red que describe el proyecto de la nueva localización del hospital tiene cinco rutas: A-I-K, A-F-K, A-C-G-J-K, B-D-H-J-K y B-E-J-K. La **ruta crítica** es la secuencia de actividades entre el principio y el final de un proyecto que requiere más tiempo para llevarse a cabo. Así, las actividades incluidas en la ruta crítica determinan el tiempo de terminación del proyecto; es decir, si una de las actividades de la ruta crítica se retrasa, todo el proyecto se retrasará también. Los tiempos estimados para las rutas en la red del proyecto del hospital son:

ruta

La secuencia de actividades entre el principio y el final de un proyecto.

ruta crítica

La secuencia de actividades entre el principio y el final de un proyecto que requiere más tiempo para llevarse a cabo.

Ruta	Tiempo estimado (semanas)
A–I–K	33
A–F–K	28
A–C–G–J–K	67
B–D–H–J–K	69
B–E–J–K	43

La cadena de actividades B-D-H-J-K tiene un tiempo estimado de terminación de 69 semanas. Como es la más larga de todas, constituye la ruta crítica y se muestra en negro en la figura 3.4.

Debido a que la ruta crítica define el tiempo de terminación del proyecto, Judy Kramer y el equipo del proyecto deben concentrarse en estas actividades. Sin embargo, es posible que los proyectos tengan más de una ruta crítica. Si la actividad A, C o G llegara a retrasarse dos semanas, la cadena A-C-G-J-K se convertiría en una segunda ruta crítica. En consecuencia, el equipo debe estar consciente de que los retrasos en actividades que no se encuentran en la ruta crítica pueden ocasionar retrasos en todo el proyecto.

Es fácil encontrar la ruta crítica de esta forma, por métodos manuales, en los proyectos pequeños. Sin embargo, cuando se trata de proyectos grandes, es necesario usar computadoras. Las computadoras calculan la holgura de las actividades y preparan informes periódicos, lo que permite a los gerentes dar seguimiento a los avances. La **holgura de una actividad** es la cantidad máxima de tiempo que dicha actividad puede retrasarse sin provocar retrasos en todo el proyecto. Las actividades contenidas en la ruta crítica tienen holgura cero. La supervisión constante del progreso de las actividades que tienen poca o ninguna holgura permite a los gerentes identificar las actividades que es necesario agilizar para mantener el proyecto dentro del plazo previsto en el programa. La holgura de una actividad se calcula a partir de cuatro tiempos de la misma: (1) el tiempo de inicio más próximo; (2) el tiempo de terminación más próximo; (3) el tiempo de inicio más lejano, y (4) el tiempo de terminación más lejano.

holgura de una actividad

Es la cantidad máxima de tiempo que dicha actividad puede retrasarse sin provocar retrasos en todo el proyecto.

tiempo de terminación más próximo (EF)

El tiempo de inicio más próximo de una actividad más su duración estimada, t, o EF = ES + t.

tiempo de inicio más próximo (ES)

El tiempo de terminación más próximo de la actividad inmediatamente precedente.

tiempo de terminación más lejano (LF)

El tiempo de inicio más lejano de la actividad que sigue inmediatamente.

tiempo de inicio más lejano (LS)

El tiempo de terminación más lejano menos la duración esperada t, de la actividad, o LS = LF − t.

Tiempos de inicio y terminación más próximos Los tiempos de inicio y terminación más próximos se obtienen como sigue:

1. El **tiempo de terminación más próximo (EF)** (del inglés *earliest finish time)* de una actividad es igual al tiempo de inicio más próximo más su duración estimada, t, o EF = ES + t.
2. El **tiempo de inicio más próximo (ES)** (del inglés *earliest start time)* de una actividad es el tiempo de terminación más próximo de la actividad inmediatamente precedente. Cuando se trata de actividades que tienen más de una actividad precedente, el ES es el más lejano de los tiempos de terminación más próximos de las actividades precedentes.

Para calcular la duración de todo el proyecto, se determina el EF de la última actividad de la ruta crítica.

Tiempos de inicio y terminación más lejanos Para obtener los tiempos de inicio y terminación más lejanos, se debe trabajar hacia atrás desde el nodo final. Para empezar, se establecerá el tiempo de terminación más lejano del proyecto de modo que sea igual al tiempo de terminación más próximo de la última actividad de la ruta crítica.

1. El **tiempo de terminación más lejano (LF)** (del inglés *latest finish time)* de una actividad es el tiempo de inicio más lejano de la actividad que sigue inmediatamente. Si las actividades tienen más de una actividad que las siga de forma inmediata, el LF será el más próximo de los tiempos de inicio más lejanos de esas actividades.
2. El **tiempo de inicio más lejano (LS)** (del inglés *latest start time)* de una actividad es igual al tiempo de terminación más lejano menos la duración esperada, t, de esa actividad, o LS = LF − t.

EJEMPLO 3.2 Cálculo de los tiempos de inicio y terminación de las actividades

Calcule los tiempos ES, EF, LS y LF de cada actividad. ¿Qué actividad debe iniciar Kramer de inmediato? La figura 3.4 contiene los tiempos de las actividades.

SOLUCIÓN

Para calcular los tiempos de inicio y terminación más próximos, comenzaremos en el nodo de inicio en el tiempo cero. Debido a que las actividades A y B no tienen predecesores, los tiempos de inicio más próximos de estas actividades también son cero. Los tiempos de terminación más próximos de estas actividades son:

$$EF_A = 0 + 12 = 12 \text{ y } EF_B = 0 + 9 = 9$$

En vista de que el tiempo de inicio más próximo de las actividades I, F y C es el tiempo de terminación más próximo de la actividad A,

$$ES_I = 12,\ ES_F = 12,\ \text{y } ES_C = 12$$

Del mismo modo,

$$ES_D = 9 \text{ y } ES_E = 9$$

Después de introducir estos valores ES en el diagrama de red (figura 3.5), determinaremos los tiempos EF de las actividades I, F, C, D y E:

$$EF_I = 12 + 15 = 27,\ EF_F = 12 + 10 = 22,\ EF_C = 12 + 10 = 22$$
$$EF_D = 9 + 10 = 19,\ \text{y } EF_E = 9 + 24 = 33$$

El tiempo de inicio más próximo de la actividad G es el tiempo EF más lejano de todas las actividades inmediatamente precedentes. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} ES_G &= EF_C & ES_H &= EF_D \\ &= 22 & &= 19 \\ EF_G &= ES_G + t & EF_H &= ES_H + t \\ &= 22 + 35 & &= 19 + 40 \\ &= 57 & &= 59 \end{aligned}$$

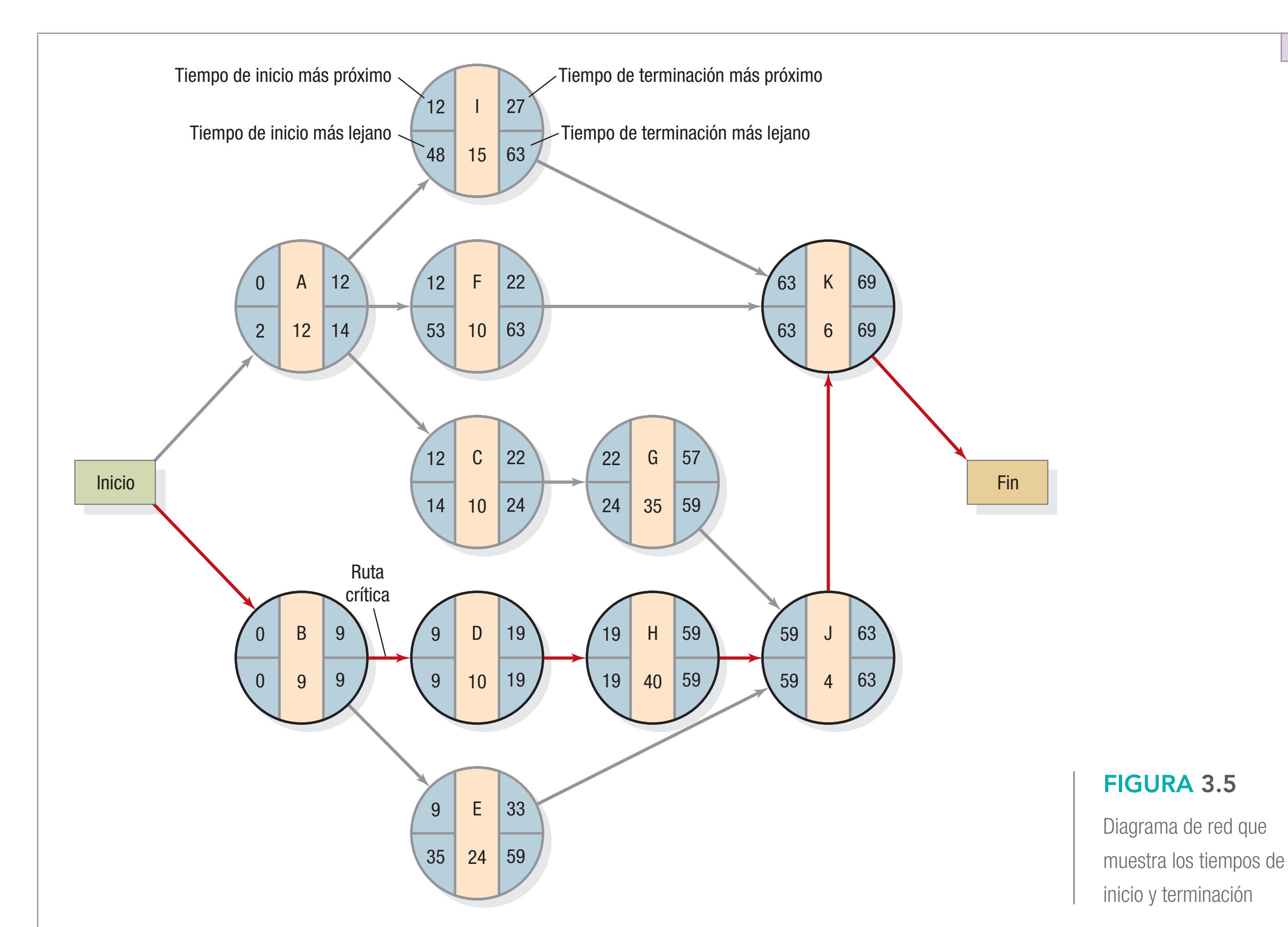


FIGURA 3.5

Diagrama de red que muestra los tiempos de inicio y terminación

El equipo del proyecto está ahora en posición de determinar la fecha más próxima en que puede comenzar cualquiera de las actividades. Como la actividad J tiene varios predecesores, el tiempo más próximo en que esa actividad J puede comenzar es el más lejano de los tiempos EF de cualquiera de sus actividades precedentes: EF_G, EF_H, EF_F. Por lo tanto, $EF_J = 59 + 4 = 63$. Asimismo, $ES_K = 63$ y $EF_K = 63 + 6 = 69$. En virtud de que la actividad K es la última actividad de la ruta crítica, la fecha más temprana en que el proyecto podrá completarse es la semana 69. Los tiempos de inicio y terminación más próximos de todas las actividades se muestran en la figura 3.5.

Para calcular los tiempos de inicio y terminación más lejanos, comenzaremos por establecer el tiempo de terminación más lejano de la actividad K en la semana 69, que es el tiempo de terminación más próximo que se determinó en la figura 3.5. Así, el tiempo de inicio más lejano de la actividad K es:

$$LS_K = LF_K - t = 69 - 6 = 63$$

Si la actividad K tiene que comenzar a más tardar en la semana 63, todos sus predecesores deben terminar en esa misma fecha y no más tarde. Por consiguiente:

$$LF_I = 63, LF_F = 63, \text{ y } LF_J = 63$$

Los tiempos de inicio más lejanos de estas actividades se presentan en la figura 3.5 como:

$$LS_I = 63 - 15 = 48, LS_F = 63 - 10 = 53, \text{ y } LS_J = 63 - 4 = 59$$

Después de haber obtenido LS_J, podemos calcular los tiempos de inicio más lejanos de los predecesores inmediatos de la actividad J:

$$LS_G = 59 - 35 = 24, LS_H = 59 - 40 = 19, \text{ y } LS_E = 59 - 24 = 35$$

De manera similar, ahora podemos calcular los tiempos de inicio más lejanos de las actividades C y D:

$$LS_C = 24 - 10 = 14 \text{ y } LS_D = 19 - 10 = 9$$

La actividad A tiene más de una actividad que le sigue inmediatamente: I, F y C. El más próximo de los tiempos de inicio más lejanos es 14 y corresponde a la actividad C. Por lo tanto,

$$LS_A = 14 - 12 = 2$$

Asimismo, la actividad B tiene dos seguidores inmediatos, D y E. En virtud de que el más próximo de los tiempos de inicio más lejanos de estas actividades 9, tenemos que

$$LS_B = 9 - 9 = 0$$

Punto de decisión Las fechas de inicio más próximas o más lejanas pueden usarse para establecer el programa del proyecto. Por ejemplo, Kramer debe iniciar la actividad B de inmediato porque la fecha de inicio más lejana es 0; de lo contrario, no será posible terminar el proyecto en la semana 69. Cuando el LS es posterior al ES de una actividad, dicha actividad puede programarse para cualquier fecha entre ES y LS. Éste es el caso de la actividad E, cuyo inicio puede programarse en cualquier momento entre la semana 9 y la semana 35, dependiendo de la disponibilidad de los recursos. Los tiempos de inicio y terminación más próximos y los tiempos de inicio y terminación más lejanos de todas las actividades se muestran en la figura 3.5.

Programa del proyecto El gerente de proyecto, a menudo con la ayuda de paquetes de cómputo, crea el programa del proyecto superponiendo las actividades de éste, con sus relaciones de precedencia y tiempos de duración estimados, a una línea cronológica. El diagrama resultante se llama **gráfica de Gantt**. En la figura 3.6 se muestra una gráfica de Gantt para el proyecto del hospital, creado con Microsoft Project, un popular programa de cómputo para administración de proyectos. La ruta crítica aparece en negro. La gráfica muestra con claridad las actividades que pueden realizarse simultáneamente y cuándo deben comenzarse. Habrá notado que el número de días calendario entre las fechas de inicio y terminación de una actividad es mayor que la duración esperada en semanas. La razón es que la configuración predeterminada de Microsoft Project es programar los sábados y domingos como días inhábiles. Además, la figura 3.6 muestra el programa de inicio más próximo del proyecto. La prioridad del calendario y del programa puede cambiarse según sea necesario. Las gráficas de Gantt son populares porque son intuitivas y fáciles de construir.

gráfica de Gantt
Programa de un proyecto, por lo general creado por el gerente de proyecto utilizando programas computarizados, que superpone las actividades del proyecto, con sus relaciones de precedencia y tiempos de duración estimados, a una línea cronológica.

Holgura de una actividad La información sobre la holgura es útil porque destaca las actividades que necesitan un alto grado de atención. En este aspecto, la holgura de una actividad es el grado de desviación con respecto al programa que puede tolerarse en dicha actividad antes de que todo el proyecto se retrase. Las actividades que se encuentran en la ruta crítica tienen holgura cero. La holgura de una actividad se reduce cuando se rebasa la duración estimada de ésta o cuando el tiempo de inicio programado para la actividad tiene que retrasarse por motivos relacionados con los recursos. Por ejemplo, se estima que la actividad G del proyecto del hospital tiene dos semanas de holgura. Suponga que los pedidos del nuevo equipo se colocan en la semana 22, la fecha de inicio más próxima de la actividad. Si el proveedor informa al equipo del proyecto que sufrirá una demora de dos semanas en el tiempo normal de entrega, el tiempo de la actividad será de 37 semanas, con lo que toda la holgura se consumirá y la actividad G se volverá crítica. La gerencia debe estar muy pendiente de la entrega del equipo para evitar retrasos en todo el proyecto.

En ocasiones, los gerentes manipulan la holgura para superar problemas de programación. La información sobre la holgura ayuda al equipo del proyecto a tomar decisiones en relación con la reasignación de recursos. Cuando es posible utilizar los recursos en varias actividades diferentes del proyecto, éstos pueden tomarse de actividades que tienen holgura para destinarlos a otras actividades que están retrasadas en el programa hasta aprovechar toda la holgura.

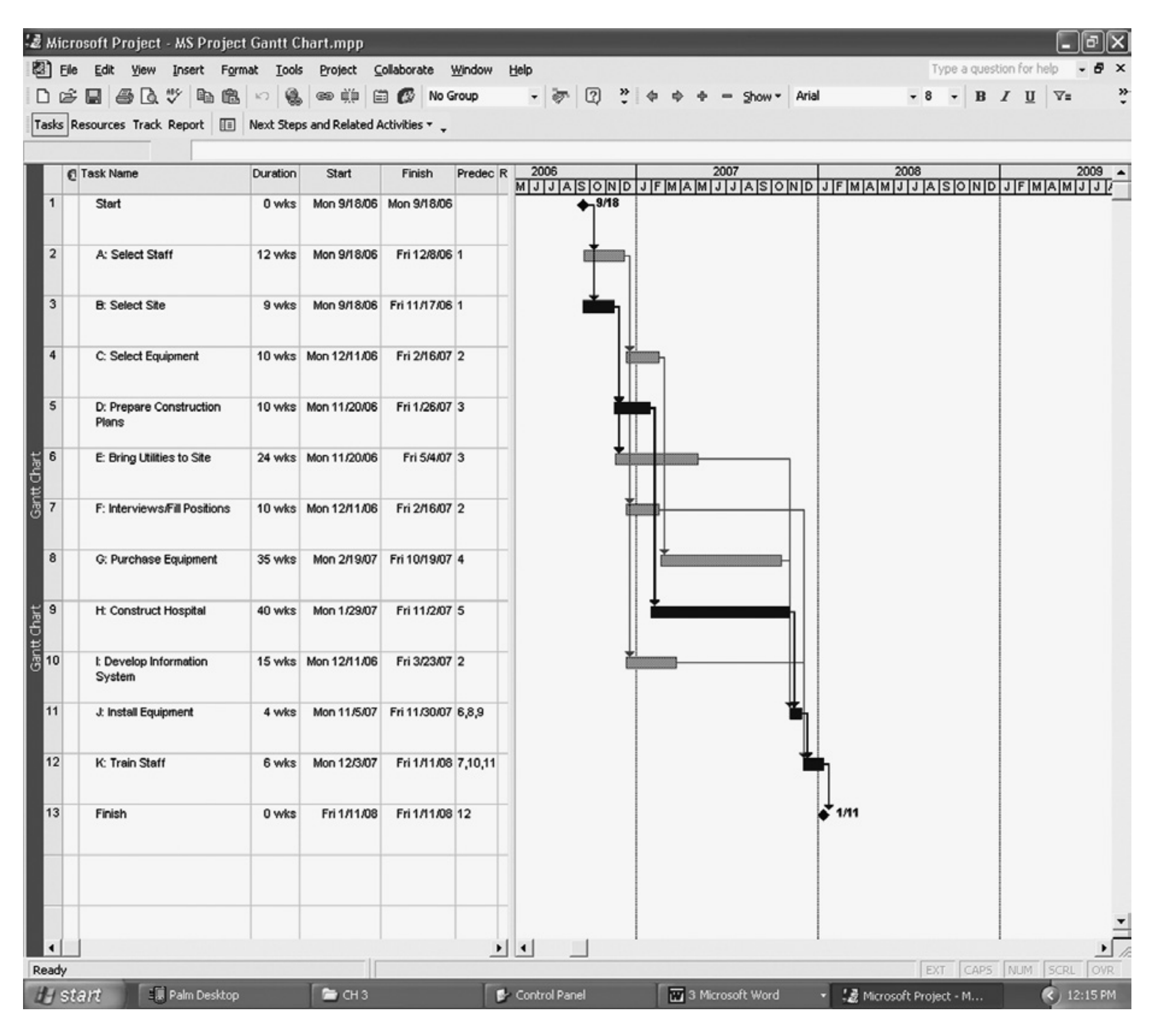
Hay dos tipos posibles de holgura de las actividades. La **holgura total** de una actividad es una función del desempeño de las actividades que conducen a ella. La comparten otras actividades. La holgura total de una actividad se calcula en una de las dos formas siguientes:

holgura total
Holgura compartida por otras actividades; se calcula como $S = LS - ES$ o $S = LF - EF$.

$$S = LS - ES \quad \text{o} \quad S = LF - EF$$

La **holgura libre** es la cantidad de tiempo que puede retrasarse la fecha de terminación más próxima de una actividad sin retrasar el tiempo de inicio más próximo de la actividad inmediata. Para demostrar el cálculo de la holgura libre, consulte la figura 3.5. Observe que la actividad A tiene un tiempo de terminación más próximo de 12 semanas y una holgura total de 2 semanas. Ahora fíjese en las tres actividades que siguen inmediatamente a la actividad A. Todas estas actividades

holgura libre
La cantidad de tiempo que puede retrasarse la fecha de terminación más próxima de una actividad sin retrasar el tiempo de inicio más próximo de la actividad inmediata.



	Task Name	Duration	Start	Finish	Predec
1	Start	0 wks	Mon 9/18/06	Mon 9/18/06	
2	A: Select Staff	12 wks	Mon 9/18/06	Fri 12/8/06	1
3	B: Select Site	9 wks	Mon 9/18/06	Fri 11/17/06	1
4	C: Select Equipment	10 wks	Mon 12/11/06	Fri 2/16/07	2
5	D: Prepare Construction Plans	10 wks	Mon 11/20/06	Fri 1/26/07	3
6	E: Bring Utilities to Site	24 wks	Mon 11/20/06	Fri 5/4/07	3
7	F: Interviews/Fill Positions	10 wks	Mon 12/11/06	Fri 2/16/07	2
8	G: Purchase Equipment	35 wks	Mon 2/19/07	Fri 10/19/07	4
9	H: Construct Hospital	40 wks	Mon 1/29/07	Fri 11/2/07	5
10	I: Develop Information System	15 wks	Mon 12/11/06	Fri 3/23/07	2
11	J: Install Equipment	4 wks	Mon 11/5/07	Fri 11/30/07	6,8,9
12	K: Train Staff	6 wks	Mon 12/3/07	Fri 1/11/08	7,10,11
13	Finish	0 wks	Fri 1/11/08	Fri 1/11/08	12

FIGURA 3.6 | Gráfica de Gantt trazada en MS Project para el programa del proyecto de St. Adolf's Hospital

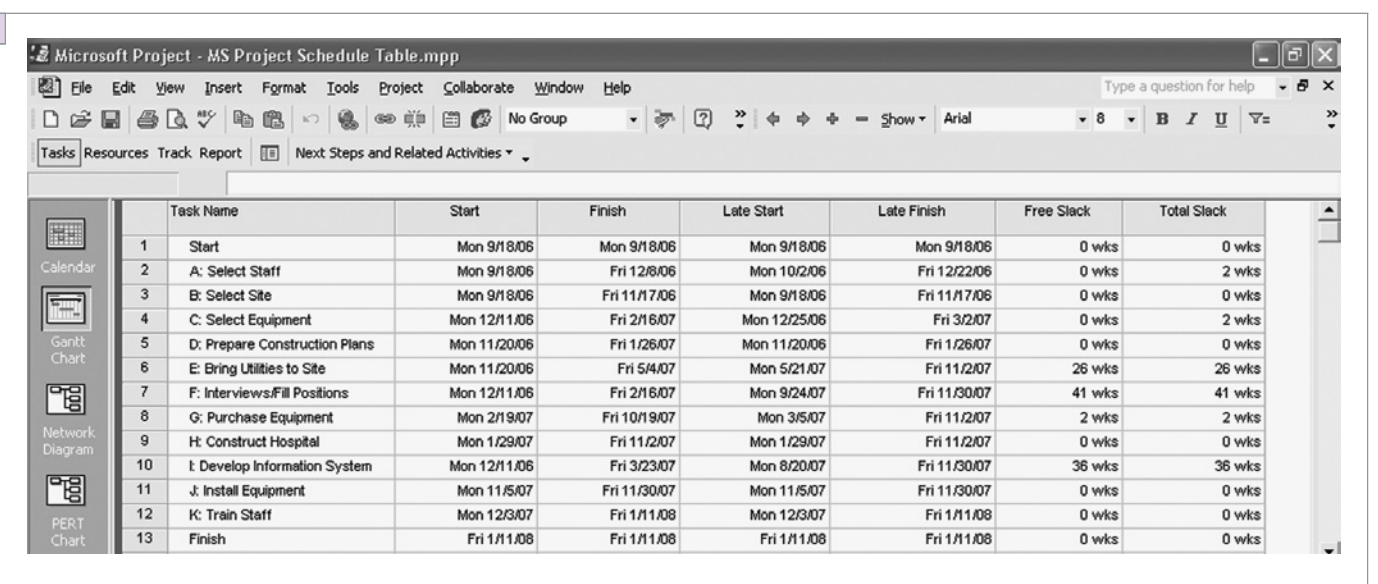
tienen tiempos de inicio más próximos de 12 semanas. Si la actividad A sufre algún retraso, éste obligará a cambiar las fechas de inicio más próximas de las siguientes tres actividades, aun cuando todavía tenga holgura total. La actividad A no tiene holgura libre. En contraste, observe la actividad G. También tiene dos semanas de holgura total. Sin embargo, su tiempo de terminación más próximo de 57 semanas es anterior al tiempo de inicio más próximo de la única actividad que le sigue, es decir, la actividad J, de 59 semanas. En consecuencia, G tiene dos semanas de holgura libre. Podría retrasarse hasta dos semanas sin afectar las fechas de inicio más próximas programadas para las demás actividades. La distinción entre los dos tipos de holgura es importante para tomar decisiones relativas a la asignación de recursos. Si una actividad tiene holgura total, pero no holgura libre, cualquier desviación con respecto de la fecha de inicio prevista en el programa afectará la holgura de las otras actividades. Sin embargo, la fecha de inicio de una actividad que tiene holgura libre puede retrasarse sin afectar el calendario de las otras actividades.

Cálculo de la holgura de una actividad — EJEMPLO 3.3

Calcule la holgura de las actividades del proyecto de St. Adolf's Hospital. Use los datos proporcionados en la figura 3.5.

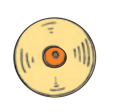
SOLUCIÓN

La siguiente tabla de Microsoft Project muestra la holgura total y la holgura libre de cada actividad. La figura 3.7 muestra que las actividades B, D, H, J y K tienen holgura cero porque están dentro de la ruta crítica.



	Task Name	Start	Finish	Late Start	Late Finish	Free Slack	Total Slack
1	Start	Mon 9/18/06	Mon 9/18/06	Mon 9/18/06	Mon 9/18/06	0 wks	0 wks
2	A: Select Staff	Mon 9/18/06	Fri 12/8/06	Mon 10/2/06	Fri 12/22/06	0 wks	2 wks
3	B: Select Site	Mon 9/18/06	Fri 11/17/06	Mon 9/18/06	Fri 11/17/06	0 wks	0 wks
4	C: Select Equipment	Mon 12/11/06	Fri 2/16/07	Mon 12/25/06	Fri 3/2/07	0 wks	2 wks
5	D: Prepare Construction Plans	Mon 11/20/06	Fri 1/26/07	Mon 11/20/06	Fri 1/26/07	0 wks	0 wks
6	E: Bring Utilities to Site	Mon 11/20/06	Fri 5/4/07	Mon 5/21/07	Fri 11/2/07	26 wks	26 wks
7	F: Interviews/Fill Positions	Mon 12/11/06	Fri 2/16/07	Mon 9/24/07	Fri 11/30/07	41 wks	41 wks
8	G: Purchase Equipment	Mon 2/19/07	Fri 10/19/07	Mon 3/5/07	Fri 11/2/07	2 wks	2 wks
9	H: Construct Hospital	Mon 1/29/07	Fri 11/2/07	Mon 1/29/07	Fri 11/2/07	0 wks	0 wks
10	I: Develop Information System	Mon 12/11/06	Fri 3/23/07	Mon 8/20/07	Fri 11/30/07	36 wks	36 wks
11	J: Install Equipment	Mon 11/5/07	Fri 11/30/07	Mon 11/5/07	Fri 11/30/07	0 wks	0 wks
12	K: Train Staff	Mon 12/3/07	Fri 1/11/08	Mon 12/3/07	Fri 1/11/08	0 wks	0 wks
13	Finish	Fri 1/11/08	Fri 1/11/08	Fri 1/11/08	Fri 1/11/08	0 wks	0 wks

FIGURA 3.7 Tabla de programa, que muestra la holgura de las actividades del proyecto de St. Adolf's Hospital



MODELO ACTIVO 3.1

El modelo activo 3.1 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) contiene explicaciones adiciones sobre las gráficas de Gantt y sus usos en el proyecto de St. Adolf's Hospital.

Punto de decisión La holgura total de una actividad depende del desempeño de las actividades que conducen a ella. Si el equipo del proyecto decidiera programar el inicio de la actividad A en la semana 2 en lugar de que éste comience de inmediato, la holgura total de las actividades C y G sería cero. Por lo tanto, todas las actividades que están dentro de una ruta específica comparten la holgura total. La tabla también muestra que varias actividades tienen holgura libre. Por ejemplo, la actividad G tiene dos semanas de holgura libre. Si el programa avanza de acuerdo con lo planeado hasta la semana 22, cuando se ha programado que comience la actividad G, y el proveedor del equipo solicita una prórroga de dos semanas para la fecha de entrega, el equipo del proyecto sabrá que la demora no afectará el programa de las otras actividades. No obstante, la actividad G estaría dentro de la ruta crítica.

Ahora que se han explicado los fundamentos de la administración de proyectos, llegó el momento de poner a prueba su comprensión de lo que ha aprendido. ¿Qué debe hacer la gerencia de The Phoenician en el reto administrativo para superar las dificultades que implica la planificación de un programa de renovación?

ANÁLISIS DE SI DEBE SACRIFICARSE COSTO POR TIEMPO O VICEVERSA

Mantener los costos en niveles aceptables es casi siempre tan importante como cumplir con las fechas previstas en el programa. En esta sección se explicará el uso de los métodos PERT/CPM para elaborar programas de costo mínimo.

La realidad de la administración de proyectos es que siempre hay que sacrificar costo por tiempo o viceversa. Por ejemplo, ocurre con frecuencia que un proyecto puede completarse antes de lo planeado si se contratan más trabajadores o se laboran turnos adicionales. Estas medidas pueden ser ventajosas si se obtienen ahorros o ingresos adicionales por el hecho de terminar el proyecto antes de lo previsto. Los *costos totales del proyecto* son la suma de los costos directos, los costos indirectos y los costos de penalización. Estos costos dependen ya sea de los tiempos de las actividades o del tiempo de terminación del proyecto. Los *costos directos* incluyen mano de obra, materiales y cualquier otro costo que se relacione directamente con las actividades del proyecto. Los gerentes tienen la posibilidad de acortar los tiempos de las actividades individuales usando recursos directos adicionales, como tiempo extra, más personal o más equipo. Entre los *costos indirectos* figuran los de administración, depreciación, financieros y otros costos generales variables que podrían evitarse si se redujera el tiempo total del proyecto. Cuanto más corta sea la duración del proyecto, tanto más bajos serán los costos indirectos. Finalmente, un proyecto incurre en costos de penalización cuando se prolonga más allá de una fecha específica, mientras que puede ganar una bonificación si se termina antes de la fecha prevista. En consecuencia, el gerente de proyecto puede considerar la posibilidad de *comprimir,* o hacer más expeditas algunas actividades con el fin de reducir el tiempo de terminación del proyecto en general y los costos totales del mismo.

RETO ADMINISTRATIVO

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS EN THE PHOENICIAN



The Phoenician, en Phoenix, Arizona, forma parte de la marca Luxury Collection de Starwood y es el único hotel de esta cadena que ha recibido el Premio AAA 5 Diamantes en el suroeste de Estados Unidos. Refinamiento, elegancia y excelencia son palabras que apenas describen la experiencia de los huéspedes del hotel, que pueden cenar en uno de los nueve restaurantes, relajarse junto a la piscina, jugar tenis, recorrer 27 hoyos de golf en tres campos de 9 hoyos cada uno o descansar con una variedad de tratamientos relajantes de *spa* en el Centro para el Bienestar, que ocupa una extensión de más de 2 mil metros cuadrados.

The Phoenician emprendió hace poco un ambicioso programa de renovación del spa y campo de golf, con un presupuesto de 38 millones de dólares. Históricamente, los programas de golf y *spa* del hotel han obtenido calificaciones altas en las encuestas realizadas dentro de las respectivas industrias a través de los años, pero el entorno ha cambiado. Este cambio se hizo evidente en el crecimiento explosivo de nuevos campos de golf y *spas* en la región suroeste de Estados Unidos. Solamente en Phoenix hay más de 275 campos de golf, y la región cuenta con la mayor concentración de nuevos *spas* de lujo en todo el país. Aunque las instalaciones de The Phoenician, son de talla mundial y muy apreciadas, tenían más de 15 años de antigüedad. La distinción de 5 Diamantes otorgada recientemente al hotel renovó el énfasis en elevar todos los procesos y servicios de este centro vacacional al nivel de 5 Diamantes.

La decisión de renovar el campo de golf y el *spa* existentes se volvió una cuestión no de *si* debían emprenderse los proyectos, sino de *hasta qué punto* debían implementarse. Las consideraciones fundamentales se centraron en: (1) si había que construir instalaciones básicas o dedicarlas al nivel de lujo y grandiosidad; (2) gozar de reputación nacional o internacional, y (3) diseñar paquetes creativos de las nuevas instalaciones para atraer a los huéspedes leales, como un programa para socios del *spa* y club de golf "parecido al de un club campestre". Dicho programa se limitaría a unas 600 membresías del spa y club de golf, por un pago único de $65,000 cada una.

La alta dirección de la empresa consideró tres opciones para el *spa* "Centro para el Bienestar". Primero, el espacio existente en el corazón del hotel podía renovarse. Esta opción requeriría trasladar el *spa* a otra parte del hotel y ofrecer tratamientos limitados durante este tiempo, con lo que los ingresos generados por el *spa* se reducirían significativamente. Con la opción 2, se podía excavar el terreno accidentado directamente detrás del hotel para crear un nuevo centro en la ladera de la montaña que ofreciera vistas panorámicas espectaculares. Esta opción implicaba el cierre, durante el periodo de construcción, de uno de los edificios del hotel que cuenta con 60 habitaciones y *suites* para huéspedes. Sin embargo, el *spa* existente podría permanecer abierto. Con la opción 3, se podía usar una estructura de estacionamiento en los terrenos del hotel, que tendría el menor impacto en los ingresos. La primera opción se consideró una como solución de corto plazo, en tanto que las dos restantes tenían potencial a largo plazo.

Las discusiones siguientes se centraron en el tipo de *spa* que se deseaba construir. Una opción era la reciente adquisición de la marca de *spa* Bliss para W Hotels de Starwood, ya que ofrecía diversos servicios durante del día y una atmósfera de lujo y placer. La segunda opción consistía en seguir siendo un centro holístico con énfasis en la salud y el restablecimiento de la energía. La tercera opción era convertirse en un *spa* de destino con estancias dedicadas para huéspedes y programas de una semana de duración. Los *spas* diurnos constituyen la categoría de más rápido crecimiento, con pocos *spas* de destino.

El equipo de gerencia de The Phoenician, con la asistencia de las oficinas de operaciones de campo y corporativas de Starwood, preparó un análisis exhaustivo de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para comprender mejor el entorno. El equipo usó el resultado de este análisis para identificar el conjunto de actividades necesarias para cada opción. El grupo corporativo de diseño y construcción creó los planos arquitectónicos y de ingeniería, así como la estructura de división del trabajo y los diagramas que mostraban la ruta crítica de las posibles opciones del proyecto. En la siguiente tabla se presenta la estructura de división del trabajo, los tiempos de las actividades y las relaciones de precedencia entre las actividades.



Cuando el Phoenician, un hotel de lujo en Phoenix, Arizona, trató de rediseñar las instalaciones de su *spa*, el equipo de gerencia creó una estructura de división del trabajo para comparar las diferentes opciones del proyecto y elegir la mejor.

Estructura de división del trabajo	Tiempo de la actividad (días)	Relaciones de precedencia entre actividades
Concepción del proyecto		
A. Reunión de puesta en marcha del proyecto	2	
B. Creación de las especificaciones del spa	30	A
Investigación geotécnica		
C. Caracterizaciones preliminares del sitio	10	B
D. Investigación del subsuelo	10	C
E. Pruebas de laboratorio	5	D
F. Evaluación de riesgos geológicos	10	E
Desarrollo del diseño		
G. Diseños iniciales	70	B
H. Plano preliminar de cumplimiento con la zonificación	15	C, G
I. Diseños finales	18	H
J. Aprobación de los diseños por parte del propietario	5	I
Documentación y estimación de costos		
K. Documentación para la construcción y paquete de paisajismo	80	F, I
L. Adquisición de estimaciones y ofertas de contratistas	90	J, K
Decisión		
M. Aprobación de uno de los tres proyectos por parte del propietario	60	L

(*continúa*)

Retos administrativos para seleccionar una alternativa para el *spa*

1. La coordinación de los distintos departamentos que participan en un proyecto importante siempre constituye un reto. ¿Qué departamentos dentro de la organización Starwood probablemente intervinieron en cada una de las siguientes actividades relacionadas con el proyecto?
   a. Definir y organizar el proyecto.
   b. Planificar el proyecto.
   c. Monitorear y controlar el proyecto.
2. Muchas veces, las personas que toman las decisiones sobre los proyectos no se basan exclusivamente en indicadores financieros, como el retorno de la inversión o las tasas internas de rendimiento, sino que atribuyen mucha importancia a factores intangibles. ¿Cuáles son los factores intangibles más notables relacionados con la selección de una de las tres opciones para el *spa*?
3. El tiempo siempre es un reto en la administración de proyectos. Trace un diagrama de red para el proceso de selección del spa. ¿Cuándo podrá la gerencia de The Phoenician tomar una decisión sobre el spa?

Costo debido a la compresión Para evaluar las ventajas de comprimir ciertas actividades, ya sea desde el punto de vista de los costos o del programa, el gerente de proyecto necesita conocer los siguientes tiempos y costos.

tiempo normal (NT)
El tiempo necesario para completar una actividad en condiciones normales.

costo normal (NC)
El costo de la actividad asociado con el tiempo normal.

tiempo al considerar la compresión (CT)
El menor tiempo posible que se requiere para completar una actividad.

costo debido a la compresión (CC)
El costo de la actividad asociado con el tiempo al considerar la compresión.

1. El **tiempo normal (NT)** (del inglés *normal time)* es el tiempo necesario para completar una actividad en condiciones normales.
2. El **costo normal (NC)** (del inglés *normal cost)* es el costo de la actividad asociado con el tiempo normal.
3. El **tiempo al considerar la compresión (CT)** (del inglés *crash time)* es el menor tiempo posible que se requiere para completar una actividad.
4. El **costo debido a la compresión (CC)** (del inglés *crash cost)* es el costo de la actividad asociado con el tiempo al considerar la compresión.

Este análisis de costos se basa en la suposición de que los costos directos aumentan de manera lineal a medida que el tiempo de la actividad se reduce con respecto a su duración normal. Esta suposición implica que por cada semana que se reduzca el tiempo de la actividad, los costos directos se elevarán en una cantidad proporcional. Por ejemplo, suponga que el tiempo normal para la actividad C del proyecto del hospital es de 10 semanas y que está asociado con un costo directo de $4,000. Si mediante la compresión de la actividad C se logra reducir su duración a sólo 5 semanas, con un costo debido a la compresión de $7,000, la reducción neta del tiempo será de 5 semanas, con un incremento neto del costo de $3,000. Se ha supuesto que la compresión de la actividad C cuesta $3,000/5 = $600 por semana (una suposición de costos marginales lineales que se ilustra en la figura 3.8). Así pues, si la actividad C se acelerara 2 semanas (es decir, si se lograra reducir su duración de 10 a 8 semanas), los costos directos estimados serían de $4,000 + 2($600) = $5,200. Para cualquier actividad, el costo de comprimirla una semana es:

$$\text{Costo de la compresión por periodo} = \frac{CC - NC}{NT - CT}$$

La tabla 3.1 contiene datos sobre costos directos y tiempos, y los costos debidos a la compresión de los mismos para ahorrar una semana de tiempo, correspondientes a las actividades incluidas en el proyecto del hospital.

FIGURA 3.8
Relaciones entre costo y tiempo en el análisis de costos

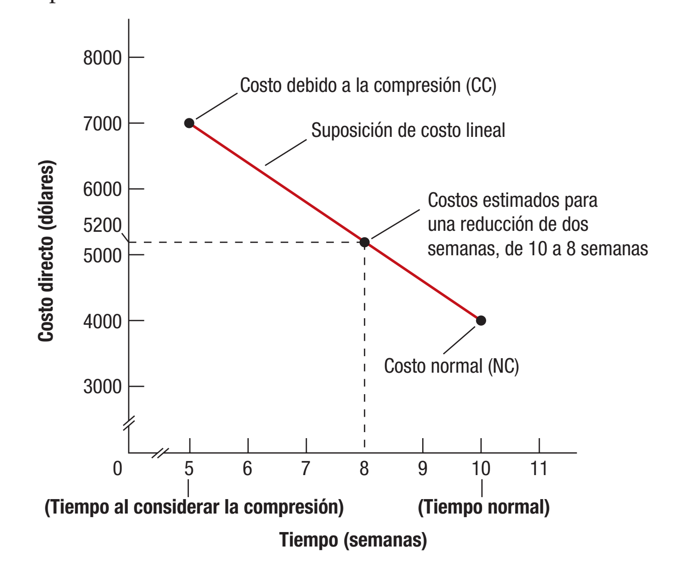


TABLA 3.1 Datos de costos directos y tiempos para el proyecto de St. Adolf's Hospital

Actividad	Tiempo normal (NT)	Costo normal (NC)	Tiempo al considerar la compresión (CT)	Costo debido a la compresión (CC)	Reducción máxima de tiempo (semanas)	Costo de la compresión por semana
A	12	$ 12,000	11	$ 13,000	1	$ 1,000
B	9	50,000	7	64,000	2	7,000
C	10	4,000	5	7,000	5	600
D	10	16,000	8	20,000	2	2,000
E	24	120,000	14	200,000	10	8,000
F	10	10,000	6	16,000	4	1,500
G	35	500,000	25	530,000	10	3,000
H	40	1,200,000	35	1,260,000	5	12,000
I	15	40,000	10	52,500	5	2,500
J	4	10,000	1	13,000	3	1,000
K	6	30,000	5	34,000	1	4,000
	Totales	$1,992,000		$2,209,500		

Minimización de los costos El objetivo del análisis de costos es determinar el programa del proyecto que minimice los costos totales del mismo. Suponga que los costos indirectos del proyecto son de $8,000 por semana. Suponga también que, a partir de la semana 65, el Consejo de Hospitales de la Región Central de Ohio impusiera a St. Adolf's un costo de penalización de $20,000 por semana si el hospital no estuviera aún en condiciones de funcionar. Con un tiempo de terminación de 69 semanas en la ruta crítica, el hospital se enfrenta a costos de penalización potencialmente cuantiosos, a menos que modifique el programa. Por cada semana que el proyecto se acorte, hasta la semana 65, el hospital se ahorrará una semana de costos de penalización *y también* de costos indirectos, es decir, $28,000. Para reducciones más allá de la semana 65, los ahorros representan únicamente los costos indirectos semanales de $8,000.

La duración mínima posible del proyecto se calcula usando los tiempos de compresión de cada actividad para efectos de programación. Sin embargo, el costo de dicho programa podría resultar prohibitivo. A los gerentes les interesa más minimizar los costos de los proyectos para no rebasar los presupuestos. En la determinación del **programa de costo mínimo**, se empieza con el programa de tiempo normal y se comprimen las actividades a lo largo de la ruta crítica, cuya longitud es igual a la del proyecto. Es necesario determinar cuánto se puede añadir en términos de costos debidos a la compresión, sin rebasar el monto de los ahorros obtenidos por concepto de costos indirectos y penalización. El procedimiento incluye los siguientes pasos:

programa de costo mínimo
Programa que se determina al iniciar con el programa de tiempo normal y comprimiendo las actividades a lo largo de la ruta crítica, de tal modo que los costos debidos a la compresión no rebasen el monto de los ahorros obtenidos por concepto de costos indirectos y penalización.

Paso 1. Determinar la(s) ruta(s) crítica(s) del proyecto.

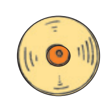
Paso 2. Buscar la o las actividades incluidas en la(s) ruta(s) crítica(s) que tengan el costo debido a la compresión más bajo por semana.

Paso 3. Reducir el tiempo correspondiente a esta actividad hasta que: (a) ya no sea posible reducirlo más; (b) otra ruta se convierta en la ruta crítica, o bien; (c) el incremento de los costos directos sea mayor que el monto de los ahorros que se obtienen de acortar el proyecto. Si existe más de una ruta crítica, es posible que los tiempos correspondientes a una actividad, dentro de cada una de esas rutas, tengan que reducirse simultáneamente.

Paso 4. Repetir este procedimiento hasta que el incremento de los costos directos sea mayor que los ahorros generados por el acortamiento del proyecto.

Cómo encontrar un programa de costo mínimo EJEMPLO **3.4**

Determine el programa de costo mínimo para el proyecto de St. Adolf's Hospital. Use la información presentada en la tabla 3.1 y la figura 3.5.



MODELO ACTIVO 3.2

El modelo activo 3.2 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) contiene explicaciones adiciones sobre el análisis de costos del proyecto de St. Adolf's Hospital.

SOLUCIÓN

El tiempo de terminación previsto para el proyecto es de 69 semanas. Los costos del proyecto de acuerdo con ese programa son de $1,992,000 por costos directos, 69($8,000) = $552,000 por costos indirectos y (69 - 65)($20,000) = $80,000 por costos de penalización, los cuales suman $2,624,000 por concepto de costos totales del proyecto. Las cinco rutas contenidas en la red tienen los siguientes tiempos normales:

A–I–K:	33 semanas
A–F–K:	28 semanas
A–C–G–J–K:	67 semanas
B–D–H–J–K:	69 semanas
B–E–J–K:	43 semanas

El análisis se simplifica si se eliminan algunas rutas para ya no tomarlas en consideración. Si se comprimieran todas las actividades incluidas en A–C–G–J–K, la duración de la ruta sería de 47 semanas. Si se comprimen todas las actividades contenidas en B–D–H–J–K, esto se traduce en una duración total de 56 semanas. Debido a que los tiempos *normales* de A–I–K, A–F–K y B–E–J–K son menores que los tiempos mínimos de las otras dos rutas consideradas, se pueden descartar estas tres rutas; ninguna de ellas llegará jamás a ser la ruta crítica por más que se compriman sus actividades.

Etapa 1

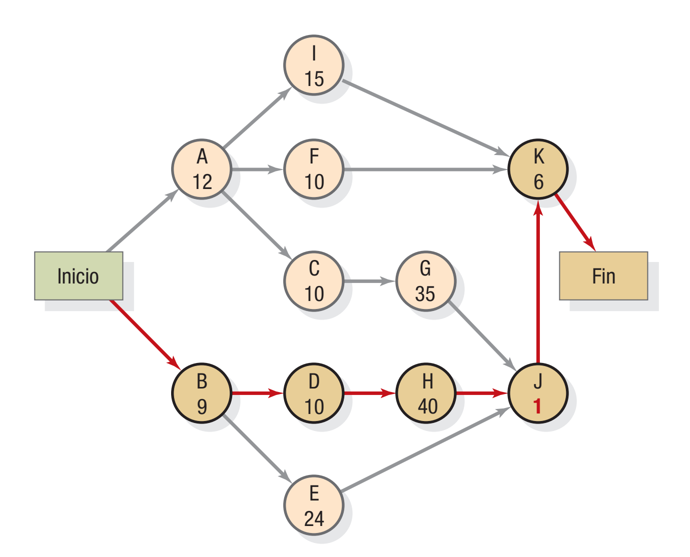
Paso 1: La ruta crítica es B–D–H–J–K.

Paso 2: La actividad cuya compresión resulta más barata por semana es la J, a razón de $1,000, una suma muy inferior a los ahorros en costos indirectos y de penalización, que ascenderían a $28,000 por semana.

Paso 3: La actividad J se comprime hasta su límite de 3 semanas porque la ruta crítica permanece invariable. Los nuevos tiempos esperados para las rutas son:

A–C–G–J–K: 64 semanas y B–D–H–J–K: 66 semanas

Los ahorros netos son de 3($28,000) – 3($1,000) = $81,000. Los costos totales del proyecto son ahora de $2,624,000 – $81,000 = $2,543,000.



Etapa 2

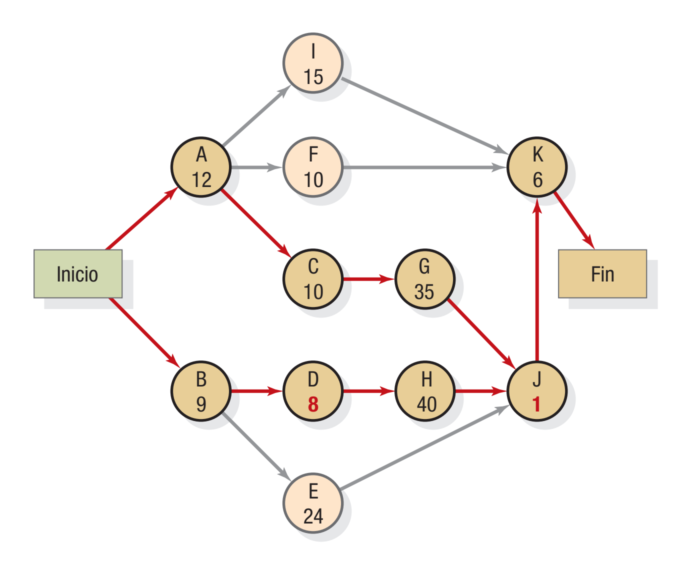
Paso 1: La ruta crítica sigue siendo B–D–H–J–K.

Paso 2: La actividad cuya compresión resulta más barata por semana es ahora la actividad D, a un costo de $2,000.

Step 3: Se comprime la actividad D por un total de 2 semanas. La primera semana de reducción de la actividad D permite ahorrar $28,000, porque elimina una semana de costos de penalización y también de costos indirectos. Cuando D se comprime una segunda semana, se ahorran solamente $8,000 en costos indirectos, porque a partir de la semana 65 ya no existen costos de penalización. Estos ahorros siguen siendo mayores que el costo de comprimir D por 2 semanas. Los tiempos de las rutas actualizadas son:

A–C–G–J–K: 64 semanas y B–D–H–J–K: 64 semanas

Los ahorros netos son: $28,000 + $8,00 – 2($2,000) = $32,000. Los costos totales del proyecto son ahora de $2,543,000 – $32,000 = $2,511,000.



Etapa 3

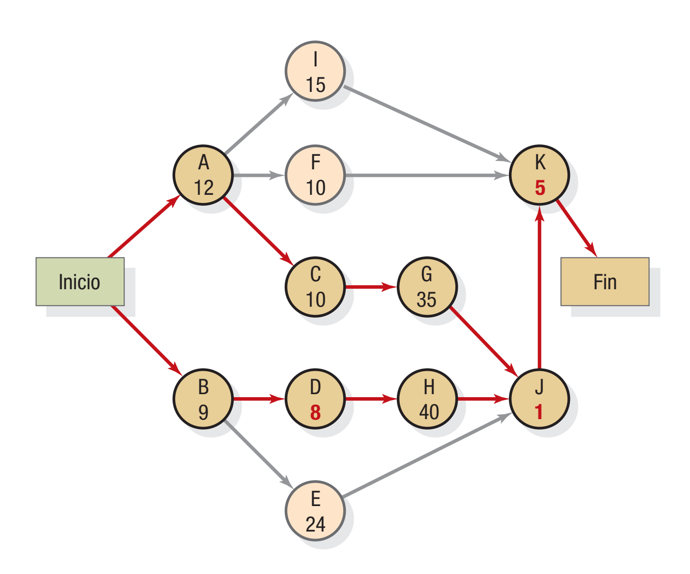
Paso 1: Después de comprimir la actividad D, quedan dos rutas críticas. Ahora es necesario acortar *ambas* rutas críticas para obtener ahorros en los costos indirectos del proyecto. Si una de ellas se acorta y la otra no, la duración del proyecto no cambiará.

Paso 2: Las alternativas consisten en comprimir alguna de las siguientes combinaciones de actividades: (A, B); (A, H); (C, B); (C, H); (G, B); (G, H) o bien, comprimir la actividad K, la cual se encuentra en ambas rutas críticas (J ya se comprimió anteriormente). Sólo se consideran las alternativas para las cuales el costo debido a la compresión es menor que los posibles ahorros de $8,000 por semana. Las únicas alternativas viables son: (C, B) al costo de $7,600 por semana y K a $4,000 por semana. Se seleccionará la actividad K para comprimirla.

Paso 3: Se comprimirá la actividad K en el mayor grado posible (con una reducción de una semana), porque se encuentra en las dos rutas críticas. Los tiempos actualizados para estas rutas son:

A–C–G–J–K: 63 semanas y B–D–H–J–K: 63 semanas

Los ahorros netos son: $8,000 − $4,000 = $4,000. Los costos totales del proyecto son: $2,511,000 − $4,000 = $2,507,000.



Etapa 4

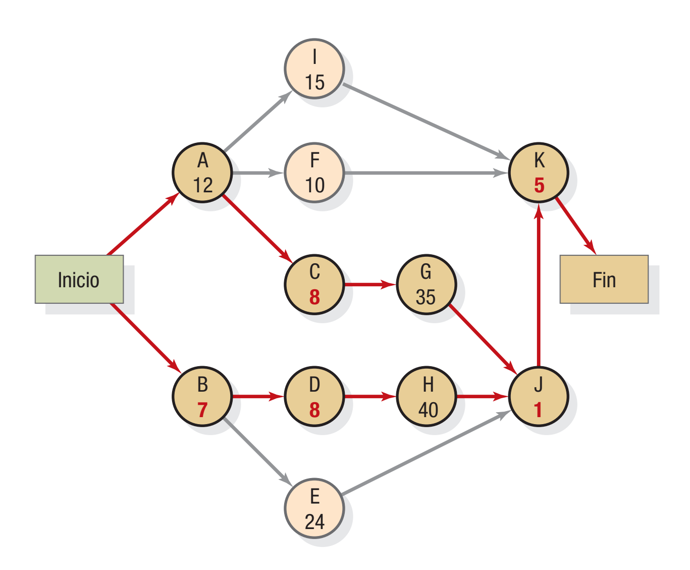
Paso 1: Las rutas críticas son B–D–H–J–K y A–C–G–J–K.

Paso 2: La única alternativa viable en esta etapa consiste en comprimir las actividades B y C simultáneamente, a un costo de $7,600 por semana. Esta suma todavía es menor que los ahorros de $8,000 por semana.

Paso 3: Las actividades B y C se comprimen 2 semanas, es decir, el límite para la actividad B. Los tiempos actualizados de las rutas son:

A–C–G–J–K: 61 semanas y B–D–H–J–K: 61 semanas

Los ahorros netos son: 2($8,000) − 2($7,600) = $800. Los costos totales del proyecto son: $2,507,000 − $800 = $2,506,200.



La tabla siguiente resume el análisis.

Etapa	Actividad comprimida	Reducción de tiempo (semanas)	Ruta(s) crítica(s) resultante(s)	Duración del proyecto (semanas)	Costos directos del proyecto, último intento (000)	Costo añadido debido a la compresión (000)	Costos indirectos totales (000)	Costos de penalización totales (000)	Costos totales del proyecto (000)
0	—	—	BDHJK	69	1,992.0	—	552.0	80.0	2,624.0
1	J	3	BDHJK	66	1,992.0	3.0	528.0	20.0	2,543.0
2	D	2	BDHJK ACGJK	64	1,995.0	4.0	512.0	0.0	2,511.0
3	K	1	BDHJK ACGJK	63	1,999.0	4.0	504.0	0.0	2,507.0
4	B,C	2	BDHJK ACGJK	61	2,003.0	15.2	488.0	0.0	2,506.2

Punto de decisión Cualquier otra combinación de actividades producirá un incremento neto en los costos totales del proyecto porque los costos debidos a la compresión son superiores a los costos indirectos semanales. El programa de costo mínimo es de 61 semanas y tiene un costo total de $2,506,200. Para obtener este programa, el equipo del proyecto debe comprimir las actividades B, D, J y K hasta sus respectivos límites, y la actividad C hasta 8 semanas. Las demás actividades se mantienen con sus tiempos normales. Este programa tiene un costo $117,800 menor que el programa con los tiempos normales.

EVALUACIÓN DE RIESGOS

El *riesgo* es una medida que tiene relación con la probabilidad y las consecuencias de no alcanzar una meta definida del proyecto. El riesgo conlleva la idea de incertidumbre en lo que se refiere a los tiempos y costos del proyecto. A menudo, los equipos de proyectos deben lidiar con la incertidumbre causada por la escasez de mano de obra, factores climáticos, retrasos en el suministro o los resultados de pruebas críticas. Una de las principales responsabilidades del gerente al inicio de un proyecto consiste en formular un **plan de administración de riesgos.** Los integrantes del equipo deben tener la oportunidad de describir los principales riesgos para el éxito del proyecto y proponer formas de evadirlos, ya sea redefiniendo las actividades fundamentales o elaborando planes de contingencia en caso de que se presente algún problema. Un buen plan de administración de riesgos los cuantifica y pronostica el impacto que tendrán en el proyecto. Por cada riesgo, el resultado es aceptable o inaceptable, dependiendo del nivel de tolerancia al riesgo del gerente de proyecto. Los riesgos de los proyectos pueden agruparse en cuatro categorías: ajuste estratégico, atributos del servicio o producto, capacidad del equipo del proyecto y operaciones.

plan de administración de riesgos
Plan que identifica los principales riesgos para el éxito de un proyecto y prescribe cómo evitarlos.

Ajuste estratégico Los proyectos deben evaluarse detenidamente desde una perspectiva estratégica. Sin importar cuál sea la magnitud del proyecto, éste debe tener un propósito que sustente las metas estratégicas de la empresa. Si la conexión con la estrategia general no es clara, el proyecto corre el riesgo de que el financiamiento resulte insuficiente para cubrir las necesidades a medida que las prioridades van cambiando. El uso del concepto de *programa* del proyecto, que se explicó antes, es útil para demostrar la importancia estratégica de un conjunto de proyectos pequeño.

Atributos del servicio o producto Si el proyecto consiste en la introducción de un servicio o producto nuevo, los posibles competidores plantean un *riesgo de mercado.* La presencia de dicho riesgo ejerce presión sobre el análisis del mercado y las proyecciones de la demanda que constituyen la base de la decisión de seguir adelante con el proyecto. El *riesgo tecnológico* puede surgir de los adelantos tecnológicos logrados una vez que el proyecto ha comenzado y que vuelven obsoleta la tecnología elegida para el servicio o producto. Este riesgo es común en la industria de las telecomunicaciones donde la tecnología de los teléfonos celulares, por ejemplo, cambia con rapidez. El peligro es que un producto de telefonía celular en desarrollo puede ser desplazado por una tecnología nueva desarrollada por un competidor. El *riesgo legal,* como las demandas por responsabilidad o la legislación ambiental, puede requerir cambios en el diseño de los servicios o productos después de haberse iniciado el desarrollo.

Capacidad del equipo del proyecto También hay riesgos asociados con el propio equipo del proyecto. Ya se habló de la selección del gerente y el equipo del proyecto, así como de las consideraciones que deben tenerse en cuenta. Las malas elecciones pueden poner en riesgo la realización de un proyecto. Otros factores que afectan el carácter arriesgado de los proyectos desde la perspectiva de la capacidad del equipo incluyen la *magnitud del proyecto,* en relación con lo que el equipo (o la empresa) han intentado con anterioridad, medida en términos del presupuesto; la *complejidad del proyecto,* en relación con el número de entidades diferentes (internas y externas) que deben coordinarse; y la *experiencia tecnológica,* en relación con las tecnologías requeridas para diseñar un servicio o producto o para implementar el proyecto.

Operaciones Los riesgos asociados con las operaciones se ven afectados por la *precisión de la información,* en relación con la integridad del programa de división del trabajo y todos los datos requeridos para evaluar el progreso, los tiempos de terminación de las actividades y los costos; *comunicación,* en relación con la oportunidad de los informes sobre los avances, medidas adoptadas y problemas que deben resolverse, dirigidos a los interesados y miembros del equipo del proyecto; y *terminación y tiempos de las actividades,* en relación con el reto de administrar el proyecto con incertidumbre en las estimaciones de los tiempos de las actividades.

Estos riesgos deben identificarse y habrá que preparar planes de contingencia para riesgos grandes en caso de que algo salga mal. Cuanto más arriesgado sea un proyecto, tanto más probable será que el proyecto experimente dificultades, como se demuestra en la Práctica administrativa 3.2.

Las redes PERT/CPM pueden usarse para cuantificar los riesgos asociados con los tiempos del proyecto. Con frecuencia, la incertidumbre asociada con una actividad se refleja en la duración de ésta. Por ejemplo, una actividad en un proyecto de desarrollo de un servicio nuevo puede consistir en desarrollar la tecnología que permitirá fabricarlo, actividad que puede tardar entre ocho meses y un año. Con el fin de incorporar los factores de incertidumbre al modelo de red, pueden seguirse dos métodos para calcular la distribución de probabilidades de los tiempos de las actividades: la simulación por computadora y el análisis estadístico. Con la simulación, el tiempo para cada actividad se elige de manera aleatoria con base en la distribución de probabilidades (véase el suplemento B, "Simulación"). Se determina la ruta crítica de la red y se calcula la fecha de terminación del proyecto. El procedimiento se repite muchas veces, lo que produce una distribución de probabilidades para la fecha de terminación.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 3.2 EL PROYECTO BIG DIG DE BOSTON PLANTEA MUCHOS RETOS

Boston, Massachusetts, tiene muchos atractivos dignos de mencionarse: los Medias Rojas de Boston, el equipo de beisbol campeón del mundo; el Sendero de la Libertad, que pasa por muchos edificios históricos y lugares de interés que datan del siglo XVII, y el proyecto más ambicioso de infraestructura de caminos en la historia de Estados Unidos. La autopista elevada de seis carriles que atravesaba el centro de la ciudad se diseñó para transportar 75,000 automóviles al día, pero debido al intenso tránsito, tenía que dar cabida a casi 200,000. La autopista estaba congestionada 10 horas diarias y se esperaba que este problema aumentara a 16 horas diarias para 2010. Costaba a los particulares y empresas 500 millones de dólares al año en accidentes, combustible y cargos por entregas tardías.

Para resolver el problema de tránsito se necesitaba algo más que añadir algunos carriles a la autopista existente, que se construyó en 1953 y cuya superestructura elevada se deterioraba rápidamente. En lugar de arreglar la vieja autopista, se tomó la decisión de construir una autopista subterránea, con ocho a diez carriles, directamente debajo de la anterior, que culminaría en el extremo norte de la ciudad con un cruce de 14 carriles en dos puentes sobre el río Charles. En el extremo sur, se construyó un túnel de cuatro carriles debajo de la zona sur y el puerto de Boston que conecta con el aeropuerto Logan, lo que no deja ninguna duda de por qué la obra vino a conocerse popularmente como "Big Dig" ("La gran excavación"). El proyecto abarca 12.5 kilómetros de autopista, de los cuales la mitad corre por túneles debajo de una ciudad y puerto importantes.

Para tener cierta perspectiva del tamaño y la complejidad de este proyecto, se necesitaron 2.9 millones de metros cúbicos de concreto, suficientes para cubrir 951 hectáreas con una capa de 30 centímetros de espesor. Se excavaron más de 12 millones de metros cúbicos de tierra, suficientes para llenar 16 veces el estadio de futbol de los Patriotas de Nueva Inglaterra. La empresa requirió 109 contratos de construcción en los que participaron muchas de las compañías constructoras más grandes de Nueva Inglaterra. En el periodo de más movimiento, más de 5,000 empleados de la construcción trabajaban en el proyecto. Para controlar el tránsito una vez que se concluyó el proyecto, se instaló el muy avanzado sistema Smart Highways, que incluyó 1,400 detectores de vehículos para medir la densidad del tránsito e identificar las pautas de éste, 430 cámaras de televisión, 130 tableros de mensajes electrónicos y 300 señales de control y detectores de monóxido de carbono. Para agravar la complejidad, la ciudad tenía que seguir funcionando durante la construcción del proyecto; la capacidad de tránsito debía mantenerse y el acceso a las empresas y residencias particulares tenía que permanecer abierto. Fue necesario trabajar en el proyecto alrededor de los túneles del metro y las tuberías de vapor subterráneas. La planificación del proyecto se inició en 1983, las obras de construcción comenzaron en 1991 y en 2005 casi todo el proyecto estaba concluido, salvo por los trabajos de reparación.

¿Fue un proyecto exitoso? La respuesta depende de a quién se le haga la pregunta. Los habitantes de Boston tienen una red de transporte mucho más eficiente que permitirá el crecimiento durante muchos años en el futuro. El proyecto hizo del centro de Boston un lugar mucho más grato en el aspecto estético, ya que se liberaron 61 hectáreas de terreno en una excelente ubicación con la demolición de la vieja carretera elevada, que ahora pueden usarse para funciones culturales, lugares de reunión y parques. Sin embargo, desde la perspectiva de administración de proyectos, no se alcanzaron las tres metas que todo proyecto debe tener: puntualidad, no exceder el presupuesto y cumplir con las especificaciones. El proyecto Big Dig sufrió una demora de cinco años (originalmente, se había previsto que se concluiría en 1998), rebasó el presupuesto en más de 10,000 millones de dólares (en un principio se calculó que el proyecto costaría 4,000 millones en dólares actuales), y necesitó reparaciones considerables por las fugas que se registraron en los túneles poco después de que éstos se abrieron a la circulación. En virtud de que el proyecto se financió con dólares de los contribuyentes, no es de extrañar que sea tema de muchos debates y controversias.



Gran controversia se suscitó en torno del proyecto "Big Dig", una enorme autopista subterránea construida debajo de la ciudad y el puerto de Boston. Cuando el proyecto quedó concluido, había rebasado enormemente el presupuesto original, estaba retrasado y no había cumplido con las especificaciones, en parte porque nadie había emprendido jamás un proyecto de tal complejidad.

¿Por qué hubo problemas en este proyecto? El Big Dig es un ejemplo de un proyecto arriesgado, no porque existieran dudas de que algún día se terminaría, sino porque era formidable y complejo. Se ha dicho que es uno de los proyectos de ingeniería más complejos y controvertidos en la historia de la humanidad y que rivaliza con obras como la del Canal de Panamá, el túnel que cruza el Canal de la Mancha y el oleoducto Trans-Alaska. El proyecto incluyó dos túneles principales y el sistema de ventilación más grande del mundo, cuatro importantes intercambiadores de autopistas, un cruce de 14 carriles con dos puentes sobre el río Charles, el sistema de control de tránsito más avanzado del mundo y la creación de parques y espacios abiertos. Los gerentes de proyecto celebraron muchas reuniones con las autoridades ambientales y las agencias encargadas de otorgar los permisos correspondientes, grupos de la comunidad, empresarios y líderes políticos para llegar a un consenso respecto a cómo se construiría el proyecto. A causa de estas reuniones, el alcance del proyecto se modificó con el tiempo, lo que ocasionó cambios en los planos del proyecto. Desde la perspectiva operacional, la mayoría de las compañías constructoras que participaron nunca habían trabajado en nada de semejante magnitud y alcance y tuvieron dificultades para proporcionar buenas estimaciones de los plazos que necesitarían para concluir la parte que les correspondía del proyecto. Los retrasos y excesos en los costos fueron inevitables. Además, fue difícil lograr el nivel de calidad deseado debido a los numerosos contratistas que intervinieron en este proyecto tan complejo. Los proyectos de esta magnitud y complejidad son inherentemente arriesgados; los planes de contingencia deben cubrir los trastornos más probables. No son raros los problemas de programación y presupuesto; sin embargo, es responsabilidad de los gerentes de proyecto administrar los riesgos y reducir las desviaciones al mínimo.

Fuente: www.massturnpike.com/bigdig/updates (2005); Seth Stern, "$14.6 Billion Later, Boston's Big Dig Wraps Up", *Christian Science Monitor* (19 de diciembre de 2003); "The Big Dig, Boston, MA, USA", www.roadtraffic-technology.com (2005); "Big Dig Tunnel Is Riddled with Leaks", *Associated Press,* http://abcnews.go.com (19 de noviembre de 2004); Michael Roth, "Boston Digs the Big Dig", *Rental Equipment Register* (1 de noviembre de 2000), http://rermag.com/ar (2005).

El método del análisis estadístico requiere que la duración de las actividades se exprese en términos de tres estimaciones de tiempo razonables:

1. El **tiempo optimista (*a*)** es el menor tiempo posible en el que puede completarse una actividad, si todo resulta excepcionalmente bien.
2. El **tiempo más probable (*m*)** es el tiempo que probablemente se requerirá para realizar la actividad.
3. El **tiempo pesimista (*b*)** es el tiempo estimado más largo que se requiere para realizar una actividad.

tiempo optimista (*a*)
El menor tiempo en el que puede completarse una actividad, si todo resulta excepcionalmente bien.

tiempo más probable (*m*)
El tiempo que probablemente se requerirá para realizar la actividad.

tiempo pesimista (*b*)
El mayor tiempo estimado que se requiere para realizar una actividad.

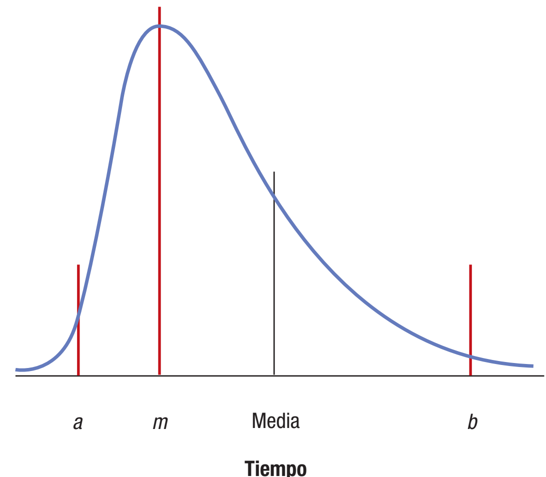
En lo que resta de esta sección se explicará cómo calcular las estadísticas de las actividades usando estas tres estimaciones de tiempo y cómo analizar los riesgos del proyecto con el uso de probabilidades.

Cálculo de estadísticas de tiempo Con tres estimaciones de tiempo (el optimista, el más probable y el pesimista), el gerente de proyecto cuenta con información suficiente para estimar la probabilidad de que una actividad pueda llevarse a cabo dentro del plazo previsto. Con este propósito, el gerente de proyecto calcula primero la media y la varianza de la distribución de probabilidades correspondiente a cada actividad. En las técnicas PERT/CPM, el tiempo de cada actividad se considera como si fuera una variable aleatoria derivada de una distribución de probabilidades beta. Esta distribución puede tener varias formas, lo cual permite que la estimación del tiempo más probable (m) se localice en algún punto entre las estimaciones pesimista (b) y optimista (a). La estimación del tiempo más probable es la *moda* de la distribución beta, o el tiempo que tiene la mayor probabilidad de ocurrencia. Esta condición no es posible con la distribución normal, que es simétrica, porque ésta requiere que la moda sea equidistante de los puntos finales de la distribución. La figura 3.9 muestra la diferencia entre las dos distribuciones.

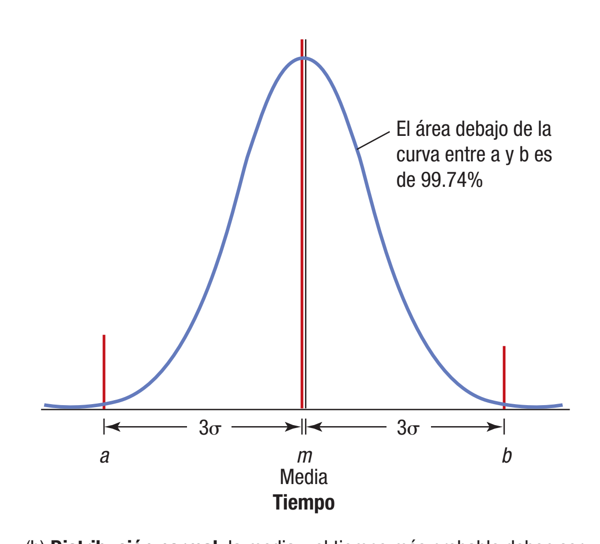
Es necesario hacer dos suposiciones clave. Primero, supondremos que es posible estimar con precisión a, m y b. Lo más acertado sería considerar las estimaciones como valores que definen un intervalo de tiempo razonable para la duración de la actividad, negociados entre el gerente de proyecto y los miembros del equipo que estarán a cargo de esas actividades. En segundo lugar, supondremos que la desviación estándar, σ, del tiempo de la actividad es igual a una sexta parte del intervalo $b - a$. Por lo tanto, la probabilidad de que los tiempos de actividad reales se ubiquen entre a y b es alta. ¿Por qué tiene sentido esta suposición? Si el tiempo de la actividad se ajustara a la distribución normal, seis desviaciones estándar abarcarían aproximadamente 99.74% de la distribución.

Aun con la ayuda de estas suposiciones, la obtención de la media y la varianza de la distribución de probabilidades de cada actividad es una operación compleja. Estos cálculos demuestran que la media de la distribución beta puede estimarse utilizando el siguiente promedio ponderado de las tres estimaciones de tiempo:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$



(a) **Distribución beta:** el tiempo más probable (*m*) tiene la probabilidad más alta y puede localizarse en cualquier punto entre los tiempos optimista (*a*) y pesimista (*b*).



(b) **Distribución normal:** la media y el tiempo más probable deben ser iguales. Si a y *b* se seleccionan procurando que haya 6σ de distancia entre ambos, existirá una probabilidad de 99.74% de que el tiempo real de la actividad se ubique en algún punto entre los dos.

FIGURA 3.9 | Diferencias entre la distribución beta y la distribución normal para análisis de proyectos

Observe que el tiempo más probable es equivalente a cuatro veces la ponderación de las estimaciones pesimista y optimista.

La varianza de la distribución beta para cada una de las actividades es:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$$

La varianza, que es igual al cuadrado de la desviación estándar, aumenta a medida que la diferencia entre b y a se incrementa. Este resultado implica que cuanto menos segura esté una persona al estimar el tiempo real de una actividad, tanto mayor será la varianza.

EJEMPLO 3.5 Cálculo de medias y varianzas

Suponga que el equipo del proyecto ha obtenido las siguientes estimaciones de tiempo para la actividad B (seleccionar el lugar y hacer un levantamiento topográfico del mismo) del proyecto de St. Adolf's Hospital:

$$a = 7 \text{ semanas}, \; m = 8 \text{ semanas y } b = 15 \text{ semanas}$$

a. Calcule el tiempo esperado para la actividad B y la varianza.

b. Calcule el tiempo esperado y la varianza para las demás actividades del proyecto.

SOLUCIÓN

a. El tiempo esperado de la actividad B es:

$$t_e = \frac{7+4(8)+15}{6} = \frac{54}{6} = 9 \text{ semanas}$$

Observe que el tiempo esperado (9 semanas) no es igual al tiempo más probable (8 semanas) en esta actividad. Estos tiempos serán iguales solamente cuando el tiempo más probable se encuentre en un punto equidistante del tiempo optimista y el tiempo pesimista. Calcularemos la varianza para la actividad B como sigue:

$$\sigma^2 = \left(\frac{15-7}{6}\right)^2 = \left(\frac{8}{6}\right)^2 = 1.78$$

b. La tabla siguiente muestra los tiempos y las varianzas esperados para las actividades mencionadas en la descripción del proyecto.

	Estimaciones de tiempo (semanas)			Estadísticas de la actividad	
Actividad	**Optimista (a)**	**Más probable (m)**	**Pesimista (b)**	**Tiempo esperado (t_e)**	**Varianza (σ^2)**
A	11	12	13	12	0.11
B	7	8	15	9	1.78
C	5	10	15	10	2.78
D	8	9	16	10	1.78
E	14	25	30	24	7.11
F	6	9	18	10	4.00
G	25	36	41	35	7.11
H	35	40	45	40	2.78
I	10	13	28	15	9.00
J	1	2	15	4	5.44
K	5	6	7	6	0.11

Punto de decisión El equipo del proyecto debe observar que la mayor incertidumbre corresponde a la estimación del tiempo de la actividad I, seguida de las estimaciones correspondientes a las actividades E y G. Dichas actividades deben analizarse para determinar el origen de la incertidumbre y habrá que adoptar medidas para reducir la varianza en las estimaciones de tiempo. Por ejemplo, la actividad I, desarrollar un sistema de información, puede suponer la contratación de una empresa de consultoría. La disponibilidad de ésta durante el periodo programado para la actividad I puede estar en duda debido a los otros compromisos de la empresa. Para reducir el riesgo de sufrir retrasos en el proyecto, los integrantes del equipo podrían investigar la disponibilidad de otras empresas de prestigio o reducir los requerimientos del sistema de información y realizar ellos mismos gran parte de dicha actividad.

Análisis de probabilidades En virtud de que las estimaciones de tiempo de las actividades implican incertidumbre, a los gerentes de proyecto les interesa determinar la probabilidad de cumplir con la fecha convenida para la terminación del proyecto. A fin de desarrollar la distribución de probabilidades correspondiente al tiempo de terminación del proyecto, supondremos que la duración de una actividad no depende de la duración de ninguna de las demás actividades. Esta suposición nos permite estimar la media y la varianza de la distribución de probabilidades correspondiente a la duración de todo el proyecto, sumando los tiempos de duración y las varianzas de las actividades que forman parte de la ruta crítica. Sin embargo, si a una cuadrilla de trabajadores se le asignan dos actividades que pueden realizarse al mismo tiempo, los tiempos de actividad serán interdependientes. Además, si otras rutas contenidas en la red tienen cantidades pequeñas de holgura, una de ellas se podría convertir en la ruta crítica antes de que el proyecto llegue a su fin. En ese caso, también tendríamos que calcular la distribución de probabilidades para esas otras rutas.

Por la suposición de que los tiempos correspondientes a la duración de las actividades son variables aleatorias independientes, aplicamos el Teorema del límite central, según el cual la suma de un grupo de variables aleatorias independientes, distribuidas en forma idéntica, se aproxima a una distribución normal a medida que el número de las variables aleatorias se incrementa. La media de la distribución normal es igual a la suma de los tiempos esperados de las actividades incluidas en la ruta. En el caso de la ruta crítica, es el tiempo esperado de terminación más próximo para todo el proyecto:

$$T_E = \Sigma \text{ (Tiempos esperados de las actividades en la ruta crítica) = Media de la distribución normal}$$

Asimismo, debido a la suposición referente a la independencia de los tiempos de las distintas actividades, usamos la suma de las varianzas de todas las actividades incluidas en la ruta como la varianza de la distribución de tiempos para esa ruta. Es decir, para la ruta crítica,

$$\sigma^2 = \Sigma \text{ (Varianzas de las actividades incluidas en la ruta crítica)}$$

Para analizar las probabilidades de completar un proyecto en una fecha determinada empleando la distribución normal, aplicamos la fórmula de transformación *z:*

$$z = \frac{T - T_E}{\sqrt{\sigma^2}}$$

donde

T = fecha de vencimiento del proyecto

Dado el valor de z, utilizaremos el apéndice Distribución normal para encontrar la probabilidad de que el proyecto quede concluido en el tiempo T, o antes. Una suposición implícita en este método es que ninguna otra ruta se volverá crítica durante el tiempo que dure el proyecto.

El procedimiento para evaluar la probabilidad de completar cualquier actividad de un proyecto en una fecha específica es similar al que acabamos de describir. Sin embargo, en lugar de la ruta crítica, se usaría la ruta de actividades correspondiente al mayor tiempo, considerada desde el nodo de inicio hasta el nodo de la actividad en cuestión.

Rutas casi críticas La duración de un proyecto es una función de la ruta crítica. Sin embargo, las rutas que se aproximan a la misma duración de la ruta crítica pueden convertirse, a la larga, en la ruta crítica durante la vida del proyecto. En la práctica, es muy común que, al principio del proyecto, los gerentes no conozcan con certeza los tiempos de las actividades y tal vez no se enteren de cuál era la ruta crítica sino hasta que se conozcan los tiempos reales de las actividades al final del proyecto. No obstante, esta incertidumbre no reduce la utilidad de identificar la probabilidad de que una ruta u otra ocasionen que un proyecto rebase el tiempo de terminación que se ha establecido como objetivo; conviene identificar las actividades que requieren mucha atención de la gerencia. Para evaluar las probabilidades de que las rutas casi críticas retrasen la terminación del

proyecto, nos centraremos en las rutas más largas de la red del proyecto, teniendo en mente que hay que tomar en consideración tanto la duración como la varianza de la ruta. Las rutas cortas que tienen un alto grado de varianza podrían tener la misma probabilidad de retrasar el proyecto que las rutas largas con varianzas menores. Entonces podremos estimar la probabilidad de que cada ruta rebase el tiempo de terminación esperado del proyecto. Demostraremos este método usando el análisis estadístico en el ejemplo 3.6. También se puede usar la simulación para estimar las probabilidades. La ventaja de la simulación es que no está restringida al uso de la distribución beta para los tiempos de las actividades. Además, las dependencias de las actividades o rutas, como los puntos de decisión que podrían abarcar a diferentes grupos de actividades que se llevarán a cabo, se pueden incorporar en un modelo de simulación con mucha mayor facilidad que con el método del análisis estadístico. Por fortuna, independientemente del método que se siga, rara vez es necesario evaluar todas las rutas de la red. En las redes grandes, muchas rutas son de corta duración y tienen varianzas pequeñas, por lo que no es probable que afecten la duración del proyecto.



EJEMPLO 3.6 Cálculo de la probabilidad de completar un proyecto en una fecha determinada

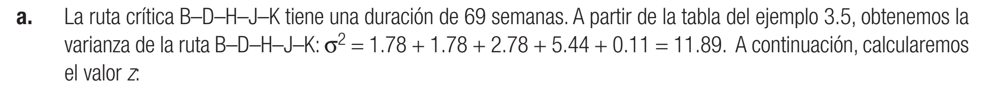
Calcule la probabilidad de que St. Adolf's Hospital se encuentre en condiciones de operación en 72 semanas, usando primero (a) la ruta crítica y después (b) la ruta A–C–G–J–K.

MODELO ACTIVO 3.3

El modelo activo 3.3 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) contiene explicaciones adiciones sobre el análisis de probabilidades del proyecto de St. Adolf's Hospital.

SOLUCIÓN

a. La ruta crítica B–D–H–J–K tiene una duración de 69 semanas. A partir de la tabla del ejemplo 3.5, obtenemos la varianza de la ruta B–D–H–J–K: $\sigma^2 = 1.78 + 1.78 + 2.78 + 5.44 + 0.11 = 11.89$. A continuación, calcularemos el valor z:



$$z = \frac{72-69}{\sqrt{11.89}} = \frac{3}{3.45} = 0.87$$

Tomando como referencia el apéndice Distribución normal, recorremos la columna de la izquierda a lo largo hasta llegar al valor 0.8, y después a lo ancho, hasta llegar a la columna 0.07, que muestra un valor tabular de 0.8078. En consecuencia, encontramos que existe una probabilidad de aproximadamente 0.81 de que la longitud de la ruta B–D–H–J–K no sea mayor que 72 semanas. Debido a que esta ruta es la ruta crítica, hay 19% de probabilidad de que la realización del proyecto tarde más de 72 semanas. Esta probabilidad se representa gráficamente en la figura 3.10.

b. A partir de la tabla presentada en el ejemplo 3.5, determinamos que la suma de los tiempos esperados de las actividades incluidas en la ruta A–C–G–J–K es de 67 semanas y que $\sigma^2 = 0.11 + 2.78 + 7.11 + 5.44 + 0.11 = 15.55$. El valor z es:

$$z = \frac{72-67}{\sqrt{15.55}} = \frac{5}{3.94} = 1.27$$

La probabilidad de que la longitud de la ruta A–C–G–J–K no sea mayor que 72 semanas es de 0.90 aproximadamente.

Punto de decisión El equipo del proyecto debe estar consciente de que hay 10% de probabilidad de que la ruta A–C–G–J–K provoque un retraso en el proyecto. Aunque la probabilidad no es alta en esa ruta, las actividades A, C y G deben vigilarse durante las primeras 57 semanas del proyecto para asegurar que no haya más de 2 semanas de desviación con respecto a sus programas. Esta atención es especialmente importante en la actividad G, que tiene un alto grado de varianza de tiempo.

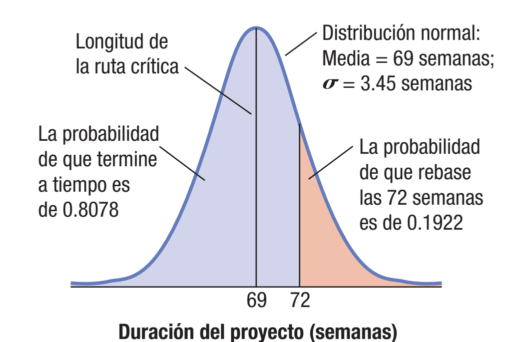


FIGURA 3.10 Probabilidad de completar el proyecto St. Adolf's Hospital en la fecha prevista

CADENA CRÍTICA

Los sacrificios de costo por tiempo o viceversa y la incertidumbre son dos aspectos importantes que los gerentes de proyecto deben atender, pero la disponibilidad de recursos es un factor subyacente que impulsa los costos y el desempeño hacia las fechas de vencimiento prometidas. Los recursos humanos, en particular, aportan una dimensión conductual a la administración de proyectos que afecta los programas y el desempeño. Eliyahu Goldratt, en su libro *Critical Chain* (1997), aborda el problema de los recursos restringidos y cómo los gerentes de proyecto pueden superar los problemas comunes del desempeño deficiente en los proyectos.[3]

PROBLEMAS RELACIONADOS CON LOS RECURSOS

Goldratt identifica seis problemas relacionados con las limitaciones de recursos y el comportamiento humano que las técnicas tradicionales de administración de proyectos no tratan de forma adecuada.

1. *Estimaciones excesivas de la duración de las actividades.* Cuando se pregunta cuánto tiempo durará una actividad, la mayoría de la gente responde con una estimación que le da una gran probabilidad de terminar anticipadamente. El problema es que cada actividad tendrá un "colchón" integrado que la gerencia no notará sino hasta después de que la actividad se haya completado.
2. *Mentalidad de la fecha más remota.* Los empleados propenden a esperar hasta el último momento para iniciar el trabajo que se requiere para completar una actividad. ¿Le suena conocido? Goldratt llama a esta mentalidad *síndrome del estudiante,* porque muchos estudiantes esperan hasta el final del semestre para hacer todos los trabajos del ciclo escolar. El síndrome del estudiante, aunado a las estimaciones excesivas de tiempo provoca indebidamente que los proyectos tarden más de lo que deberían.
3. *No entregar anticipadamente.* Incluso si el trabajo se termina antes de la fecha de terminación más lejana, a menudo no se pasa a la siguiente actividad sino hasta la fecha programada. Existen muchas razones posibles que explican por qué a los empleados no les gusta terminar anticipadamente, lo que incluye no poder cargar todo el tiempo programado al proyecto o tardar más tiempo para asegurar que todo se encuentre en orden. El problema es que se consume tiempo de holgura y las terminaciones tardías de algunas actividades no se compensan con las terminaciones anticipadas de otras actividades. En consecuencia, todo el proyecto se rezaga.
4. *Confluencia de rutas.* Una confluencia de rutas ocurre cuando dos o más rutas de actividades se unen en un nodo específico de la red de un proyecto. Suponga que dos rutas convergen en el nodo 10, el cual constituye el punto de partida de otra serie de actividades. Todas las rutas de trabajo que ahí confluyen deben completarse antes de que las actividades que comienzan en el nodo 10 puedan iniciarse. La confluencia de rutas reduce la holgura acumulada en las rutas porque la ruta con el retraso más grande domina el programa de las actividades en el nodo 10. Las confluencias de rutas son otra causa de retraso de los proyectos.
5. *Multitareas.* Los gerentes rara vez tienen la fortuna de trabajar en un solo proyecto a la vez, la mayoría tiene que distribuir su tiempo entre varios proyectos en curso. Multitareas es el desempeño de actividades de múltiples proyectos al mismo tiempo. Intuitivamente, se piensa que el método multitareas es una forma de mantener el avance de todos los proyectos. ¿A qué gerente le gustaría que lo responsabilizaran del retraso de un proyecto porque no ha trabajado en él? Sin embargo, ocuparse de múltiples tareas a la vez en realidad puede contribuir a retrasar los proyectos. Suponga que un gerente participa en cuatro proyectos y que cada proyecto le quita un día de su tiempo si le dedica toda su atención. Considere uno de esos proyectos. Con la técnica multitareas, la estimación del tiempo del gerente para esa actividad sería de cuatro días en lugar de uno, para permitir la función multitareas. Si el gerente se hubiera concentrado en esa actividad un día, el proyecto podría haber avanzado en lugar de tener que esperar otros tres días. En este ejemplo, la duración de los cuatro proyectos en su totalidad se prolonga debido a la función multitareas.
6. *Pérdida de enfoque.* Los proyectos también pueden retrasarse cuando el gerente de proyecto pierde el enfoque, lo cual puede ocurrir si la ruta crítica cambia con frecuencia. Los métodos habituales de programación de proyectos permiten que la ruta crítica de éstos cambie a medida que los tiempos reales de las actividades se desvían de los tiempos estimados.

[3]La *cadena crítica* aplica un método llamado Teoría de restricciones (TOC, del inglés *Theory of Constraints*) a la administración de proyectos. La TOC se tratará en el capítulo 6 cuando se hable del problema de los cuellos de botella en los procesos. Véase también el artículo informativo de Larry P. Leach, "Critical Chain Project Management Improves Project Performance", *Project Management Journal,* junio de 1999, pp. 39-51.

EL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA

Para solucionar estos seis problemas, el método de la cadena crítica propone mejorar las estimaciones de tiempo de las actividades, redefinir el concepto de ruta crítica para incluir los recursos, incorporar amortiguadores de tiempo en la estructura de división del trabajo del proyecto, programar las actividades de acuerdo con la fecha de inicio más lejana y controlar los aspectos conductuales del proyecto.

Estimaciones de tiempo El método de la cadena crítica pide a quienes estiman la duración de las actividades que primero proporcionen una estimación de tiempo de "bajo riesgo" para la actividad del proyecto, que sería semejante a la estimación de tiempo pesimista (b) que usamos anteriormente en el análisis de las estimaciones de tiempo. A continuación, se solicita una estimación de tiempo "más probable" (m), suponiendo que todo salga de acuerdo con lo esperado y que los responsables de la tarea le dediquen el 100% de su tiempo una vez que empiecen a trabajar en la actividad. Las estimaciones de tiempo *más probable* se usan para elaborar el plan del proyecto de cadena crítica y la diferencia ($b - m$) se usa para crear los amortiguadores de tiempo del proyecto.

cadena crítica
Es la secuencia de acontecimientos dependientes que impide que el proyecto se termine en un intervalo más corto y reconoce las dependencias tanto entre los recursos como entre las actividades.

Cadena crítica Goldratt definió la **cadena crítica** como la secuencia de acontecimientos dependientes que impide que el proyecto se termine en un intervalo más corto y reconoce las dependencias tanto entre los recursos como entre las actividades. Para identificar la cadena crítica se necesitan buenas estimaciones de la duración de las actividades, así como la asignación de recursos a las mismas. Durante este análisis se pueden identificar los recursos que están sobrecargados. Las restricciones de recursos suelen relacionarse con la gente; sin embargo, también pueden ser limitaciones físicas o políticas. La cadena crítica amplía el concepto de ruta crítica, ya que reconoce las limitaciones de recursos y proporciona el enfoque para aplicar amortiguadores de tiempo a los proyectos.

Amortiguadores Una vez que se ha identificado la cadena crítica y todas las rutas que la alimentan, se pueden añadir amortiguadores de tiempo a la red para protegerla. La diferencia en las estimaciones de tiempo de las actividades, ($b - m$), se usa para crear *amortiguadores de alimentación* en el punto en que cada ruta alimentadora se conecta con la cadena crítica. Asimismo, al final de la cadena crítica, se puede añadir un *amortiguador de proyecto*. Los amortiguadores de tiempo pueden tratarse como "actividades" en la red del proyecto. La ventaja de este método es que los amortiguadores de tiempo, que son una acumulación de la holgura en una ruta, se localizan en lugares aislados en la red y no en cada actividad en lo individual como holgura de la misma. La gerencia se centra en estos amortiguadores de tiempo para supervisar los avances del proyecto.

Programas de inicio más lejano El uso de programas de inicio más lejano tiene la ventaja de retrasar el desembolso de efectivo para el proyecto y reconocer el "síndrome del estudiante" en la planificación del mismo. Los amortiguadores de alimentación y de tiempo del proyecto ofrecen la protección que los gerentes necesitan para evitar demoras provocadas porque las actividades tardan más que su estimación de tiempo más probable.

Control de proyectos Los gerentes que siguen el método de la cadena crítica tienen que controlar los aspectos conductuales de los proyectos. En primer lugar, los gerentes deben tratar de minimizar la práctica de ocuparse de múltiples tareas a la vez porque afecta las estimaciones de la duración de las actividades y retrasa los proyectos. El gerente debe crear un entorno en el que se elimine el comportamiento orientado hacia las fechas. Es decir, los empleados no deben ser criticados por rebasar los tiempos previstos si empezaron la actividad puntualmente, trabajaron al 100% en ella y transmitieron los resultados en cuanto éstos estuvieron listos. Los amortiguadores del proyecto sirven de protección cuando se rebasan los límites establecidos. En segundo término, los gerentes deben centrarse en la administración periódica de los amortiguadores de alimentación y de proyecto. La gerencia puede establecer niveles críticos de los amortiguadores para que, cuando se alcancen, se inicien de inmediato las medidas conducentes a subsanar los problemas. Por último, agregar proyectos a la cartera de forma indiscriminada puede ocasionar problemas. Los proyectos deben agregarse y programarse con base en la carga de los recursos críticos.

> MONITOREO Y CONTROL DE PROYECTOS <

Una vez que concluye la planificación del proyecto, el reto radica en mantener el proyecto al día y dentro del presupuesto de recursos asignados. En esta sección se explicará cómo monitorear el status de un proyecto y la utilización de los recursos. Además, se identificarán las características del software de administración de proyectos que son útiles para monitorear y controlar proyectos.

MONITOREO DEL STATUS QUE GUARDA UN PROYECTO

Un buen sistema de seguimiento ayudará al equipo del proyecto a alcanzar las metas establecidas. A menudo, la propia tarea de monitorear los avances del proyecto motiva al equipo, ya que éste ve

cómo se convierten en realidad los beneficios de los esfuerzos de planificación. También centra la atención en las decisiones que deberán tomarse a medida que el proyecto se vaya desarrollando. Los sistemas de seguimiento eficaces recopilan información acerca de tres temas: problemas pendientes, riesgos y status que guarda el programa.

Problemas pendientes y riesgos Una de las obligaciones del gerente de proyecto es asegurarse de que los problemas que se hayan planteado durante el proyecto se resuelvan de manera oportuna. El sistema de seguimiento debe recordarle al gerente de proyecto las fechas de vencimiento de los problemas que aún se encuentran pendientes y quién era responsable de ocuparse de su resolución. Asimismo, debe proporcionar el status de cada riesgo de retraso del proyecto que se haya especificado en el plan de administración de riesgos para que el equipo pueda revisarlos en cada reunión. El gerente de proyecto también debe introducir los nuevos problemas o riesgos en el sistema en cuanto se presenten. Para ser eficaz, el sistema de seguimiento requiere que los miembros del equipo actualicen de forma periódica la información relativa a sus respectivas responsabilidades. Aunque el sistema de seguimiento puede computarizarse, también puede ser tan simple como usar el correo electrónico, el correo de voz o las reuniones para transmitir la información necesaria.

Status del programa Hasta los planes de proyectos mejor trazados pueden salir mal. Monitorear el tiempo de holgura en el programa ayuda al gerente de proyecto a controlar las actividades a lo largo de la ruta crítica. Supongamos que, en la realización del proyecto del hospital, la actividad A se completó en 16 semanas, en lugar de las 12 semanas previstas, y que para llevar a cabo la actividad B se necesitaron 10 semanas, en lugar de las 9 semanas planeadas. La tabla 3.2 muestra la forma en que estos retrasos afectan los tiempos de holgura hasta la decimosexta semana del proyecto. Las actividades A y B no se muestran porque ya se completaron.

La *holgura negativa* se presenta cuando las suposiciones en las que se basó el cálculo de la holgura planeada son incorrectas. Las actividades C, G, J y K, que dependen de la terminación oportuna de las actividades A y B, muestran una holgura negativa porque se han desplazado más allá de sus respectivas fechas de inicio más lejanas, previstas en la planificación. Las actividades que aparecen en la parte superior de la tabla 3.2 tienen una importancia más decisiva que las que se consignan en la parte inferior porque son las que están más retrasadas con respecto al programa y porque afectan el tiempo de terminación de todo el proyecto. Para poder alcanzar la meta original de terminación en la semana 69, el gerente de proyecto tendrá que hallar la forma de ahorrar dos semanas de tiempo en algún punto a lo largo de la ruta C–G–J–K. Además, tendrá que compensar una de esas dos semanas a lo largo de la ruta D-H. Si consigue ahorrar ese tiempo, habrá dos rutas críticas: C–G–J–K y D–H–J–K. Muchos gerentes de proyecto trabajan con software de programación de actividades, que genera informes acerca de la holgura, como el que se presenta en la tabla 3.2.

MONITOREO DE LOS RECURSOS DEL PROYECTO

Los principios de la cadena crítica han demostrado que los recursos asignados a un proyecto se consumen a un ritmo irregular que es una función de los tiempos programados para las actividades del proyecto. Los proyectos tienen un *ciclo de vida* compuesto por cuatro etapas principales: (1) definición y organización; (2) planificación; (3) ejecución, y (4) cierre. La figura 3.11 muestra que cada una de las cuatro etapas requiere diferentes asignaciones de recursos.

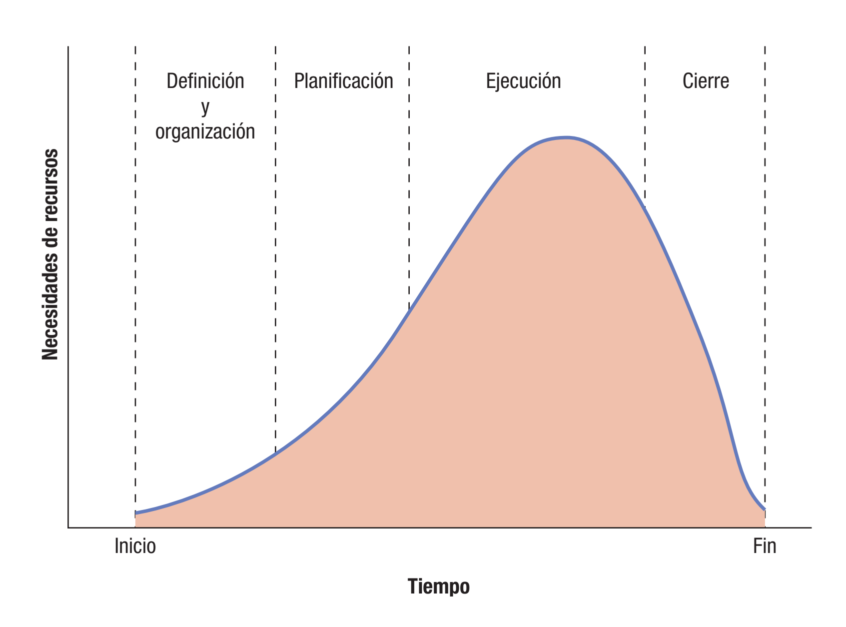
Ya hemos hablado de las actividades asociadas con la etapa de definición y organización del proyecto y la etapa de planificación del mismo. La fase que requiere más recursos es la *etapa de ejecución,* en la cual los gerentes se centran en las actividades que producirán los resultados. El

TABLA 3.2 Cálculos de la holgura después de que las actividades A y B han quedado concluidas

Actividad	Duración	Inicio más próximo	Inicio más lejano	Holguera
C	10	16	14	−2
G	35	26	24	−2
J	4	61	59	−2
K	6	65	63	−2
D	10	10	9	−1
H	40	20	19	−1
E	24	10	35	25
I	15	16	48	32
F	10	16	53	37

FIGURA 3.11

Ciclo de vida del proyecto



programa del proyecto puede cobrar una enorme importancia porque indica cuándo se necesitará cada recurso dedicado a una actividad determinada. El monitoreo del progreso de las actividades a lo largo del proyecto es importante para evitar una posible sobrecarga de los recursos. Los problemas se presentan cuando un recurso específico, como una cuadrilla de construcción o personal especializado, se necesita en varias actividades cuyos programas se traslapan. Los gerentes de proyecto disponen de varias opciones para mitigar los problemas de recursos, entre otras:

- *Nivelación de recursos.* El intento de reducir los picos y valles en las necesidades de recursos mediante cambios en los programas de las actividades en conflicto, dentro de las fechas de inicio más próxima y más lejana. Los paquetes de software, como MS Project, tienen algoritmos que mueven las actividades para evitar infringir las restricciones de recursos. Sin embargo, si una actividad debe retrasarse más allá de su fecha de inicio más lejana, la fecha de terminación de todo el proyecto se retrasará, a menos que sea posible reducir las actividades de la ruta crítica para compensarlo. Las técnicas de compresión o los métodos de amortiguación del proyecto que se explicaron con anterioridad pueden ayudar a poner al día el proyecto, pero debe considerarse la posibilidad de que los costos aumenten.
- *Asignación de recursos.* La asignación de recursos a las actividades más importantes. Los paquetes más populares de software de administración de proyectos tienen algunas reglas de prioridad que pueden usarse para decidir qué actividad debe programarse para ser realizada por un recurso crítico en caso de que se presenten conflictos. Por ejemplo, para todas las actividades que requieren un determinado recurso, éste debe asignarse a la actividad que tenga la fecha de inicio más próxima. Existen otras reglas de prioridad, como la del "tiempo de inicio más lejano", que Eliyahu Goldratt recomienda para reconocer el "síndrome del estudiante". El gerente de proyecto también puede trasladar a los empleados a otras tareas, aun cuando no hayan sido asignados originalmente a éstas. Un informe de holgura, como el que se presenta en la tabla 3.2, identifica a los posibles candidatos para los cambios de recursos. Sin embargo, puede ponerse en riesgo la eficiencia si los empleados trasladados no cuentan con todas las competencias necesarias para realizar las nuevas tareas que se les han asignado.
- *Asignación de recursos.* La adición de más de un recurso sobrecargado para mantener el programa de una actividad. Como es lógico, esta táctica queda restringida por el presupuesto del proyecto.

CONTROL DE LOS PROYECTOS

Los gerentes de proyecto tienen la responsabilidad de responder por el uso eficaz de los recursos de la empresa, así como de administrar las actividades para alcanzar las metas del proyecto en cuanto a tiempo y calidad. Los activos de la empresa incluyen los activos físicos, los recursos humanos y los recursos financieros. Los activos físicos se controlan mediante el mantenimiento oportuno de la maquinaria y equipo para que las fallas de funcionamiento no retrasen el proyecto. Es necesario recibir los inventarios, almacenarlos para usarlos en el futuro y reabastecerlos. Los gerentes de proyecto también son responsables del desarrollo de los recursos humanos. Los proyectos ofrecen un enriquecido entorno para desarrollar a los líderes del futuro; los gerentes de proyecto pueden aprovechar la situación si asignan tareas importantes a los miembros del equipo para ayudarles a desarrollar sus capacidades directivas. Por último, aunque no por ello menos

importante, los gerentes de proyecto deben controlar el gasto de los recursos financieros de la empresa. La mayoría de los paquetes de software de administración de proyectos contienen informes de contabilidad, informes presupuestarios, controles de inversión de capital e informes del flujo de efectivo. Las desviaciones con respecto al plan del proyecto, llamadas a menudo variaciones, deben informarse periódicamente y analizarse para determinar sus causas.

Los gerentes de proyecto pueden ejercer control sobre el logro de las metas de tiempo y calidad del proyecto si vigilan el status y los recursos del proyecto, como se ha expuesto. El progreso inaceptable del proyecto puede dar lugar a las decisiones de nivelación, asignación o adquisición. La clave consiste en saber cuándo actuar. Se usan tres mediciones para guiar a los gerentes de proyecto.[4] El *valor ganado* (EV, del inglés *earned value*) de un proyecto es el costo presupuestado del trabajo efectivamente completado a la fecha. Se calcula multiplicando el costo presupuestado de cada actividad por su porcentaje de terminación y sumando todas las actividades del proyecto. El *costo real* (AC, del inglés *actual cost*) es el costo real del trabajo realizado a la fecha. Finalmente, el *costo planeado* (PC, del inglés *planned cost*) es el costo presupuestado del trabajo cuya terminación se programó a la fecha en el plan original del proyecto. Estas mediciones se usan para calcular dos índices que evalúan el progreso del proyecto a una fecha específica:

$$\text{Índice de desempeño del costo (CPI)} = EV/AC$$

$$\text{Índice de desempeño del programa (SPI)} = EV/PC$$

El CPI indica cómo se relacionan los gastos reales con el presupuesto original del proyecto. El SPI indica si el progreso en múltiples actividades está adelantado o rezagado con respecto al plan del proyecto. El valor crítico de cada índice es de 1.0. Los valores menores que 1.0 no son deseables y, si son demasiado bajos, darían lugar a que se tomaran las medidas que correspondan.

Por ejemplo, supongamos que al día de hoy, un proyecto tiene EV = \$14,000, AC = \$20,000 y PC = \$19,000. Por consiguiente,

$$CPI = \$14{,}000/\$20{,}000 = 0.70$$

$$SPI = \$14{,}000/\$19{,}000 = 0.74$$

Los índices indican que se ha gastado más de lo previsto en el plan original del proyecto y, por la cantidad que se ha gastado hasta el momento, el progreso con respecto al programa del proyecto no es muy bueno. Este descubrimiento obligaría a reexaminar las decisiones sobre los recursos para ver por qué no se ha cumplido con el programa, y a revisar el historial de gastos para ver por qué los costos del proyecto son superiores a los costos planeados para los avances realizados hasta el momento.

El monitoreo y control de los proyectos son actividades continuas a lo largo de la etapa de ejecución del ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, el **cierre** del proyecto es una actividad que muchos gerentes de proyecto olvidan incluir en su consideración de la utilización de los recursos. El propósito de esta última etapa en el ciclo de vida del proyecto es redactar los informes finales y completar los resultados restantes. Sin embargo, un aspecto importante de esta etapa es compilar las recomendaciones del equipo para mejorar el proceso del proyecto del cual formaron parte. Muchos integrantes del equipo serán asignados a otros proyectos donde puedan aplicar lo que aprendieron.

cierre
Actividad que comprende la redacción de los informes finales, la conclusión de los resultados restantes y la compilación de las recomendaciones del equipo para mejorar el proceso del proyecto.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> ECUACIONES CLAVE <

1. Tiempos de inicio y terminación:

   ES = máx (Tiempos EF de todas las actividades que preceden inmediatamente a la actividad)

   $EF = ES + t$

   $LS = LF - t$

   LF = mín (Tiempo LS de todas las actividades que siguen inmediatamente a la actividad)

2. Holgura de una actividad:

   $S = LS - ES$ o $S = LF - EF$

[4]Para más información acerca del control de los proyectos, véase Samuel J. Mantel et al., *Project Management in Practice,* 2a. edición, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2005.

3. Costos del proyecto:

Costo debido a la compresión por unidad de tiempo =

$$\frac{\text{Costo debido a la compresión} - \text{Costo normal}}{\text{Tiempo normal} - \text{Tiempo al considerar la compresión}} = \frac{\text{CC} - \text{NC}}{\text{NT} - \text{CT}}$$

4. Estadísticas de tiempo de las actividades:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \text{ (Tiempo esperado de la actividad)}$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \text{ (Varianza)}$$

5. Fórmula de la transformación z:

$$z = \frac{T - T_E}{\sqrt{\sigma^2}}$$

donde

T = fecha de vencimiento del proyecto
T_E = (tiempos esperados de las actividades en la ruta crítica) = media de la distribución normal
σ^2 = Σ(varianzas de las actividades incluidas en la ruta crítica)

TÉRMINOS CLAVE

actividad 75
administración de proyectos 71
cadena crítica 98
cierre 101
costo debido a la compresión (CC) 86
costo normal (NC) 86
diagrama de red 76
estructura de división del trabajo (WBS) 75
gráfica de Gantt 82
holgura de una actividad 79
holgura libre 82
holgura total 82
método de ruta crítica (CPM) 76
plan de administración de riesgos 91
programa 71
programa de costo mínimo 87
proyecto 70
red de actividades en nodos (AON) 77
relación de precedencia 77
ruta 79
ruta crítica 79
técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) 76
tiempo al considerar la compresión (CT) 86
tiempo de inicio más lejano (LS) 80
tiempo de inicio más próximo (ES) 80
tiempo de terminación más lejano (LF) 80
tiempo de terminación más próximo (EF) 80
tiempo más probable (m) 93
tiempo normal (NT) 86
tiempo optimista (a) 93
tiempo pesimista (b) 93

PROBLEMA RESUELTO 1

Su compañía acaba de recibir el pedido de un cliente importante que desea comprar un motor eléctrico con diseño especial. El contrato establece que, desde el decimotercer día a partir de hoy, su empresa tendrá que pagar una penalización de $100 diarios hasta que el trabajo esté terminado. Los costos indirectos del proyecto son de $200 por día. Los datos acerca de los costos directos y las relaciones de precedencia de las actividades se presentan en la tabla 3.3.

a. Dibuje el diagrama de red de este proyecto.
b. ¿Qué fecha de terminación recomendaría usted?

TABLA 3.3 Datos del proyecto del motor eléctrico

Actividad	Tiempo normal (días)	Costo normal ($)	Tiempo al considerar la compresión (días)	Costo debido a la compresión ($)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	4	1,000	3	1,300	Ninguno
B	7	1,400	4	2,000	Ninguno
C	5	2,000	4	2,700	Ninguno
D	6	1,200	5	1,400	A
E	3	900	2	1,100	B
F	11	2,500	6	3,750	C
G	4	800	3	1,450	D, E
H	3	300	1	500	F, G

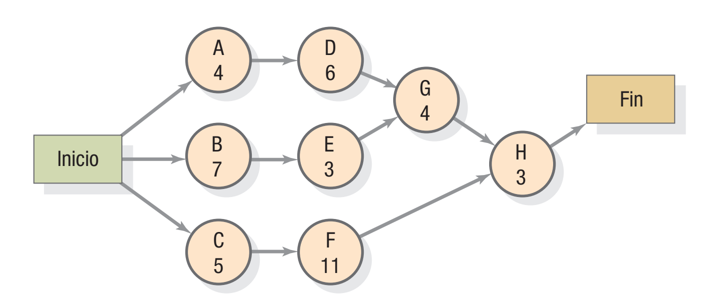


FIGURA 3.12

Diagrama de red del proyecto del motor eléctrico

SOLUCIÓN

a. El diagrama de red, que incluye los tiempos normales de las actividades que forman parte de este procedimiento, se ilustra en la figura 3.12. Tenga presentes los siguientes puntos cuando elabore un diagrama de red:

1. Incluya siempre un nodo de inicio y un nodo de fin.
2. Trate de evitar que las rutas se crucen para no complicar el diagrama.
3. Use solamente una flecha para indicar conexiones directas entre dos nodos.
4. Coloque a la izquierda las actividades que no tengan predecesores y trace las flechas de modo que vayan de izquierda a derecha.
5. Dispóngase a revisar el diagrama en varias ocasiones antes de obtener un diagrama correcto y bien ordenado.

b. Con estos datos sobre la duración de las actividades, el proyecto se completará en 19 días e incurrirá en una penalización de $700 por retraso. Para calcular correctamente la fecha de terminación se requiere el uso del procedimiento basado en el programa de costo mínimo. Con los datos que se presentan en la tabla 3.3, podrá determinar la reducción máxima del tiempo al considerar la compresión y del costo debido a la compresión por día en cada actividad. Por ejemplo, en el caso de la actividad A:

Tiempo máximo al considerar la compresión = Tiempo normal – Tiempo al considerar la compresión = 4 días – 3 días = 1 día

$$\text{Costo debido a la compresión por día} = \frac{\text{Costo debido a la compresión} - \text{Costo normal}}{\text{Tiempo normal} - \text{Tiempo al considerar la compresión}} = \frac{CC - NC}{NT - CT} = \frac{\$1{,}300 - \$1{,}000}{4 \text{ días} - 3 \text{ días}} = \$300$$

Actividad	Costo debido a la compresión por día ($)	Reducción máxima del tiempo (días)
A	300	1
B	200	3
C	700	1
D	200	1
E	200	1
F	250	5
G	650	1
H	100	2

La tabla 3.4 muestra un resumen del análisis y los datos resultantes sobre la duración y el costo total del proyecto. La ruta crítica es C–F–H, con un total de 19 días, que es la ruta más larga contenida en la red. De todas estas actividades, la que resulta más fácil de comprimir es la H, pues la compresión cuesta sólo $100 adicionales diarios. Eso permite ahorrar $200 + $100 = $300 diarios por concepto de costos indirectos y de penalización. Si esta actividad se comprime dos días (el máximo), la longitud de las rutas será la siguiente:

A–D–G–H: 15 días, B–E–G–H: 15 días y C–F–H: 17 días

La ruta crítica sigue siendo la C–F–H. La siguiente actividad crítica que resulta más barato comprimir es la F, al costo de $250 por día. F se puede comprimir solamente dos días porque al llegar a ese punto habrá tres rutas críticas. Para obtener reducciones adicionales en la duración del proyecto, se requiere comprimir simultáneamente varias actividades (D, E y F). El costo que esto implicaría, S650, sería mayor que los posibles ahorros, $300. Por consiguiente, hay que detenerse al llegar a este punto. Observe que todas las actividades

TABLA 3.4 Análisis de los costos del proyecto

Etapa	Actividad comprimida	Reducción del tiempo (días)	Ruta(s) crítica(s) resultante(s)	Duración del proyecto (días)	Costos directos del proyecto, último intento	Costo agregado de la compresión	Total de costos indirectos	Total de costos de penalización	Total de costos del proyecto
0	—	—	C–F–H	19	$10,100	—	$3,800	$700	$14,600
1	H	2	C–F–H	17	$10,100	$200	$3,400	$500	$14,200
2	F	2	A–D–G–H B–E–G–H C–F–H	15	$10,300	$500	$3,000	$300	$14,100

son críticas. Los costos del proyecto se minimizan cuando la fecha de terminación es el día 15. Sin embargo, también puede haber ciertos costos de crédito mercantil asociados con incumplir a un cliente que deseaba recibir su pedido en 12 días.

PROBLEMA RESUELTO 2

El gerente de un proyecto de publicidad elaboró los diagramas de red ilustrados en la figura 3.13 para una nueva campaña de publicidad. Además, ha reunido la información de tiempo correspondiente a cada actividad, como se muestra en la tabla adjunta.

Estimaciones de tiempo (semanas)				
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista	Predecesor(es) inmediato(s)
A	1	4	7	—
B	2	6	7	—
C	3	3	6	B
D	6	13	14	A
E	3	6	12	A, C
F	6	8	16	B
G	1	5	6	E, F

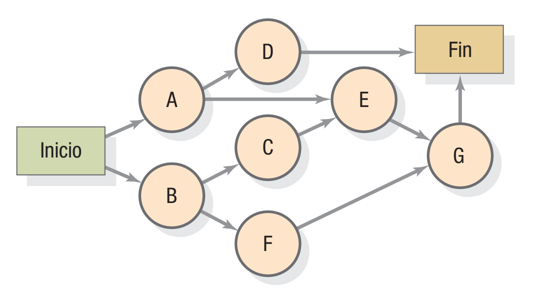


FIGURA 3.13 | Diagrama de red para un proyecto de publicidad

a. Calcule el tiempo esperado y la varianza correspondientes a cada actividad.

b. Calcule las holguras de las actividades y determine la ruta crítica, utilizando los tiempos esperados para dichas actividades.

c. ¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto dentro de un plazo de 23 semanas?

SOLUCIÓN

a. El tiempo esperado y la varianza de cada actividad se calculan como sigue:

$$t_e = \frac{a+4m+b}{6}$$

Actividad	Tiempo esperado (semanas)	Varianza
A	4.0	1.00
B	5.5	0.69
C	3.5	0.25
D	12.0	1.78
E	6.5	2.25
F	9.0	2.78
G	4.5	0.69

b. Necesitamos calcular los tiempos de inicio más próximo, de inicio más lejano, de terminación más próximo y de terminación más lejano para cada actividad. Empezando con las actividades A y B, comenzamos desde el inicio de la red y avanzamos hasta el final, calculando los tiempos de inicio y terminación más próximos:

Actividad	Inicio más próximo (semanas)	Terminación más próxima (semanas)
A	0	0 + 4.0 = 4.0
B	0	0 + 5.5 = 5.5
C	5.5	5.5 + 3.5 = 9.0
D	4.0	4.0 + 12.0 = 16.0
E	9.0	9.0 + 6.5 = 15.5
F	5.5	5.5 + 9.0 = 14.5
G	15.5	15.5 + 4.5 = 20.0

Tomando como base los tiempos esperados, la fecha de terminación más próxima del proyecto es la semana 20, cuando la actividad G ya se haya llevado a cabo. Usando esto como fecha objetivo, podemos trabajar hacia atrás en la red para calcular los tiempos de inicio y terminación más lejanos (que están representados gráficamente en la figura 3.14):

Actividad	Inicio más lejano (semanas)	Terminación más lejana (semanas)
G	15.5	20.0
F	6.5	15.5
E	9.0	15.5
D	8.0	20.0
C	5.5	9.0
B	0.0	5.5
A	4.0	8.0

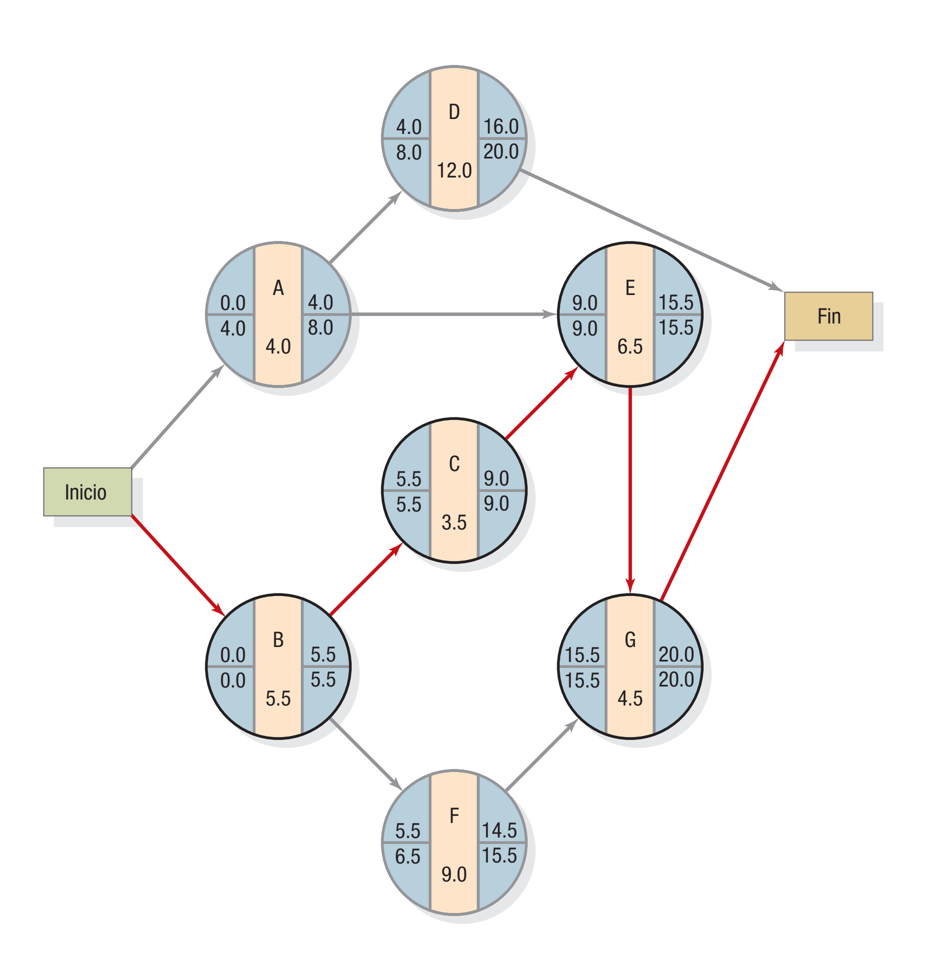


FIGURA 3.14

Diagrama de red con todas las estimaciones de tiempo necesarias para calcular la holgura

Ahora calcularemos las holguras de las actividades y determinaremos qué actividades se encuentran en la ruta crítica:

	Inicio		Fin				
Actividad	**Más próximo**	**Más lejano**	**Más próxima**	**Más lejana**	**Holgura total**	**Holgura libre**	**Ruta crítica**
A	0.0	4.0	4.0	8.0	4.0	0.0	No
B	0.0	0.0	5.5	5.5	0.0	0.0	Sí
C	5.5	5.5	9.0	9.0	0.0	0.0	Sí
D	4.0	8.0	16.0	20.0	4.0	4.0	No
E	9.0	9.0	15.5	15.5	0.0	0.0	Sí
F	5.5	6.5	14.5	15.5	1.0	1.0	No
G	15.5	15.5	20.0	20.0	0.0	0.0	Sí

Las rutas y las cifras totales de los tiempos esperados y varianzas son:

Ruta	Tiempo esperado total (semanas)	Varianza total
A–D	4 + 12 = 16	1.00 + 1.78 = 2.78
A–E–G	4 + 6.5 + 4.5 = 15	1.00 + 2.25 + 0.69 = 3.94
B–C–E–G	5.5 + 3.5 + 6.5 + 4.5 = 20	0.69 + 0.25 + 2.25 + 0.69 = 3.88
B–F–G	5.5 + 9 + 4.5 = 19	0.69 + 2.78 + 0.69 = 4.16

La ruta crítica es B–C–E–G, con un tiempo esperado total de 20 semanas. Sin embargo, la ruta B–F–G abarca 19 semanas y tiene una varianza considerable.

c. Calcularemos primero el valor *z*:

$$z = \frac{T - T_E}{\sqrt{\sigma^2}} = \frac{23 - 20}{\sqrt{3.88}} = 1.52$$

Al consultar el apéndice Distribución normal, encontramos que la probabilidad de completar el proyecto en 23 semanas o menos es de 0.9357. En virtud de que la longitud de la ruta B–F–G es muy similar a la de la ruta crítica y tiene una varianza considerable, sería muy factible que se convirtiera en la ruta crítica durante la realización del proyecto.

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. Uno de sus colegas comenta que el software es la clave definitiva para el éxito en la administración de proyectos. ¿Qué le respondería usted?
2. Cuando un proyecto grande se administra mal, todo el mundo se entera de la noticia. Forme un grupo de discusión para identificar las penalizaciones asociadas con la mala administración de un proyecto, de acuerdo con su experiencia o las noticias recientes. Identifique la causa del problema, ya sea por estimaciones de tiempo inexactas, cambios en el alcance del proyecto, actividades no planeadas o cuya secuencia se determinó incorrectamente, recursos insuficientes o malas relaciones entre la gerencia y los trabajadores.
3. Describa un proyecto en el que haya participado. ¿Qué actividades incluía y cómo se interrelacionaban? ¿Cómo calificaría al gerente de proyecto? ¿En qué ha basado su evaluación?

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Considere los siguientes datos correspondientes a un proyecto.

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	2	—
B	4	A
C	5	A
D	2	B
E	1	B
F	8	B, C
G	3	D, E
H	5	F
I	4	F
J	7	G, H, I

   a. Trace el diagrama de red.
   b. Calcule la ruta crítica de este proyecto.
   c. ¿Cuánta holgura total hay en las actividades G, H e I?
   d. ¿Cuánta holgura libre hay en las actividades G, H e I?

2. Se dispone de la siguiente información acerca de un proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	7	—
B	2	A
C	4	A
D	4	B, C
E	4	D
F	3	E
G	5	E

   a. Trace el diagrama de red correspondiente a este proyecto.
   b. Determine la ruta crítica y la duración del proyecto.
   c. Calcule la holgura libre de cada actividad.

3. Un proyecto tiene las siguientes relaciones de precedencia y tiempos de actividad:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	4	—
B	10	—
C	5	A
D	15	B, C
E	12	B
F	4	D
G	8	E
H	7	F, G

a. Trace el diagrama de red.
b. Calcule la holgura total de cada actividad. ¿Qué actividades se encuentran en la ruta crítica?

4. Se dispone de la siguiente información acerca de un proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (semanas)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	3	—
B	4	—
C	5	—
D	4	—
E	7	A
F	2	B, C, D
G	4	E, F
H	6	F
I	4	G
J	3	G
K	3	H

a. Trace el diagrama de red.
b. Encuentre la ruta crítica.

5. Se ha recopilado la siguiente información acerca de un proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (semanas)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	4	—
B	7	A
C	9	B
D	3	B
E	14	D
F	10	C, D
G	11	F, E

a. Trace el diagrama de red.
b. Calcule la holgura total de cada actividad y determine la ruta crítica. ¿Cuánto durará este proyecto?
c. ¿Cuál es la holgura libre de las actividades D y E?

6. Considere la siguiente información acerca de un proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (semanas)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	4	—
B	3	—
C	5	—
D	3	A, B
E	6	B
F	4	D, C
G	8	E, C
H	12	F, G

a. Trace el diagrama de red correspondiente a este proyecto.
b. Especifique la ruta crítica.
c. Calcule la holgura total de las actividades A y D.
d. ¿Cómo se afectaría la holgura total de D si la actividad A requiriera cinco días?
e. ¿Qué actividad tiene más holgura libre?

7. Barbara Gordon, la gerente de proyecto de Web Ventures, Inc., preparó una tabla que muestra las estimaciones de tiempo correspondientes a cada una de las actividades manufactureras de un proyecto de la compañía, en la cual incluyó las estimaciones optimista, más probable y pesimista.

a. Calcule el tiempo esperado, t_e, para cada actividad.
b. Calcule la varianza, σ^2, para cada actividad.

Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista
A	3	8	19
B	12	15	18
C	2	6	16
D	4	9	20
E	1	4	7

8. Recientemente le fue asignada la dirección de un proyecto para su compañía. Con ese propósito, elaboró un diagrama de red que representa las diversas actividades del proyecto (figura 3.15). Además, le ha pedido a su equipo que estime la cantidad de tiempo que, a juicio de ellos, requerirá cada una

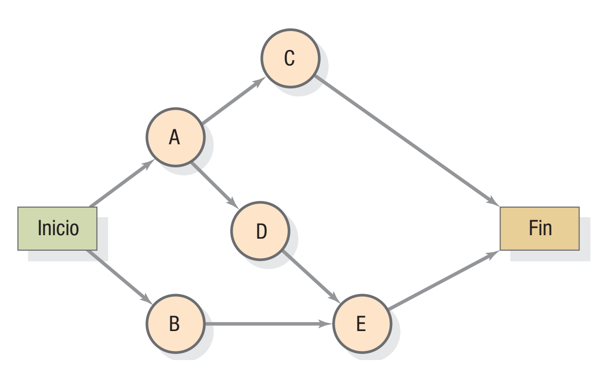


FIGURA 3.15 | Diagrama de red de su proyecto

de las actividades. Las respuestas del equipo aparecen en la tabla siguiente:

	Estimaciones de tiempo (días)		
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista
A	5	8	11
B	4	8	11
C	5	6	7
D	2	4	6
E	4	7	10

a. ¿Cuál es el tiempo esperado de terminación del proyecto?
b. ¿Qué probabilidad hay de terminar el proyecto en 21 días?
c. ¿Qué probabilidad hay de terminar el proyecto en 17 días?

9. En el Problema resuelto 2, estime la probabilidad de que la ruta no crítica B–F–G requiera más de 20 semanas. *Sugerencia:* reste de 1.00 la probabilidad de que B–F–G requiera 20 semanas o menos.

10. Considere los siguientes datos para un proyecto que su compañía nunca antes había intentado realizar:

Actividad	Tiempo esperado t_e(semanas)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	5	—
B	3	—
C	2	A
D	5	B
E	4	C, D
F	7	D

a. Trace el diagrama de red correspondiente a este proyecto.
b. Identifique la ruta crítica y estime la duración del proyecto.
c. Calcule la holgura total de cada actividad.

11. La directora de educación continua de la Bluebird University acaba de aprobar los planes para realizar un seminario de capacitación en ventas. Su asistente administrativo ha identificado las diversas actividades que será necesario llevar a cabo y las relaciones que existen entre ellas, como se aprecia en la tabla 3.5.

En virtud de la incertidumbre que rodea la planificación del nuevo curso, el asistente también ha preparado las siguientes estimaciones de tiempo para cada actividad:

	Estimaciones de tiempo (días)		
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista
A	5	7	8
B	6	8	12
C	3	4	5
D	11	17	25
E	8	10	12
F	3	4	5
G	4	8	9
H	5	7	9
I	8	11	17
J	4	4	4

La directora desea inaugurar el seminario dentro de 47 días hábiles a partir de hoy. ¿Qué probabilidad hay de que todo esté listo a tiempo?

TABLA 3.5 | Actividades para preparar el seminario de capacitación en ventas

Actividad	Descripción	Predecesor(es) inmediato(s)
A	Diseñar el folleto y el anuncio del curso.	—
B	Identificar a los posibles profesores.	—
C	Preparar un plan detallado del curso.	—
D	Enviar el folleto y las solicitudes a los estudiantes.	A
E	Enviar solicitudes a los profesores.	B
F	Seleccionar al profesor para el curso.	C, E
G	Aceptar a los estudiantes.	D
H	Seleccionar el texto para el curso.	F
I	Pedir y recibir los textos.	G, H
J	Preparar el aula para las clases.	G

12. La tabla 3.6 contiene información acerca de un proyecto. Acorte el proyecto tres semanas, encontrando el programa de costo mínimo. Suponga que los costos indirectos y los costos de penalización de este proyecto son insignificantes. Identifique las actividades que conviene comprimir, minimizando al mismo tiempo los costos adicionales debidos a la compresión.

13. La información referente a un proyecto se presenta en la tabla 3.7. Los costos indirectos del proyecto ascienden a $250 por día. La compañía incurrirá en una penalización de $100 diarios por cada día que el proyecto se retrase después del día 14.

a. ¿Cuál es la duración del proyecto si sólo se consideran los tiempos normales?
b. ¿Cuál es el programa de costo mínimo?
c. ¿Cuál es la ruta crítica para el programa de costo mínimo?

14. Usted es el gerente de un proyecto para mejorar el proceso de facturación en su empresa. La tabla 3.8 contiene los datos que necesitará para realizar un análisis de costos del proyecto. Los costos indirectos ascienden a $1,600 por semana y los cotos de penalización son de $1,200 por semana después de la semana 12.

a. ¿Cuál es el programa de costo mínimo para este proyecto?
b. ¿Qué diferencia hay en los costos totales del proyecto entre el tiempo de terminación más próximo del proyecto usando tiempos "normales" y el programa de costo de mínimo que calculó en la parte (a)?

15. La tabla 3.9 contiene datos para la instalación de equipo nuevo en un proceso manufacturero en la planta de un cliente. Su compañía es responsable del proyecto. Los costos indirectos son de $10,000 por semana y se incurrirá en un costo de penalización de $10,000 por cada semana que el proyecto se retrase después de la semana 9.

a. ¿Cuál es la duración más corta de este proyecto, sin considerar el costo?
b. ¿Cuál es el costo mínimo total asociado con la terminación del proyecto en 12 semanas?
c. ¿Cuánto tiempo en total requiere el programa de costo mínimo?

16. Jason Ritz, gerente de distrito de Gumfull Foods, Inc., tiene a su cargo la tarea de abrir un nuevo establecimiento de comida rápida dentro de la ciudad universitaria de Clarity. Su interés principal consiste en contratar un gerente y un equipo de cocineros, preparadores y despachadores de hamburguesas. También tiene que coordinar la renovación de un edificio, cuyo propietario anterior acondicionó como tienda de artículos para mascotas. Ritz ha recopilado los datos que se presentan en la tabla 3.10.

TABLA 3.6 Actividades y datos de costos del proyecto

Actividad	Tiempo normal (semanas)	Tiempo al considerar la compresión (semanas)	Costo debido a la compresión ($ por semana)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	7	6	200	Ninguno
B	12	9	250	Ninguno
C	7	6	250	A
D	6	5	300	A
E	1	1	—	B
F	1	1	—	C, D
G	3	1	200	D, E
H	3	2	350	F
I	2	2	—	G

TABLA 3.7 Actividades y datos de costos del proyecto

Actividad	Tiempo normal (días)	Costo normal ($)	Tiempo al considerar la compresión (días)	Costo debido a la compresión ($)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	5	1,000	4	1,200	—
B	5	800	3	2,000	—
C	2	600	1	900	A, B
D	3	1,500	2	2,000	B
E	5	900	3	1,200	C, D
F	2	1,300	1	1,400	E
G	3	900	3	900	E
H	5	500	3	900	G

TABLA 3.8 Datos para el proceso de facturación

Actividad	Predecesor(es) inmediato(s)	Tiempo normal	Tiempo al considerar la compresión	Costo normal	Costo debido a la compresión
A	—	4	1	5,000	8,000
B	—	5	3	8,000	10,000
C	A	1	1	4,000	4,000
D	B	6	3	6,000	12,000
E	B, C	7	6	4,000	7,000
F	D	7	6	4,000	7,000

TABLA 3.9 Datos para el proyecto de instalación del equipo

Actividad	Predecesor(es) inmediato(s)	Tiempo normal	Tiempo al considerar la compresión	Costo normal	Costo debido a la compresión
A	—	3 semanas	2 semanas	7,000	10,000
B	—	1	1	3,000	3,000
C	A	4	2	12,000	40,000
D	B	2	1	12,000	28,000
E	C	1	1	8,000	8,000
F	D, E	4	2	5,000	15,000
G	E	2	1	9,000	18,000

TABLA 3.10 | Datos para el proyecto del establecimiento de comida rápida

Actividad	Descripción	Predecesor(es) inmediato(s)	Tiempo (semanas) *a*	*m*	*b*
A	Entrevistar estudiantes universitarios para seleccionar un nuevo gerente.	—	2	4	6
B	Renovar el edificio.	—	5	8	11
C	Colocar anuncios para solicitar empleados y entrevistar a los solicitantes.	—	7	9	17
D	Realizar visitas con los candidatos a ocupar el puesto de nuevo gerente.	A	1	2	3
E	Comprar equipo para el nuevo establecimiento e instalarlo.	B	2	4	12
F	Verificar las referencias de los solicitantes de empleo y realizar la selección final.	C	4	4	4
G	Verificar las referencias de los candidatos para gerente y realizar la selección final.	D	1	1	1
H	Celebrar reuniones de orientación y realizar los trámites para la nómina.	E, F, G	2	2	2

La alta dirección le ha comunicado a Ritz que el nuevo establecimiento deberá inaugurarse lo más pronto posible. Por cada semana que se logre acortar el proyecto, la empresa ahorrará $1,200 por concepto de costos de arrendamiento. Ritz estudió la forma de ahorrar tiempo en la realización del proyecto y pensó en dos posibilidades. La primera consistía en contratar a Arctic, Inc., una agencia de empleos de la localidad, para que seleccionara algunos buenos candidatos a ocupar el puesto de gerente. De esta manera lograría ahorrar tres semanas en la actividad A, pero le costaría a Gumfull Foods la suma de $2,500. El otro enfoque consistía en añadir unos cuantos trabajadores para acortar en dos semanas el tiempo de la actividad B, pagando un costo adicional de $2,700.

Ayude a Jason Ritz y responda las siguientes preguntas:

a. ¿Cuánto tiempo se espera que dure el proyecto?
b. Suponga que Ritz se ha fijado el objetivo personal de completar el proyecto en 14 semanas. ¿Qué probabilidad hay de que alcance su objetivo?
c. ¿Qué gastos adicionales habría que hacer para reducir la duración del proyecto? Use el tiempo esperado para cada actividad como si no existiera incertidumbre al respecto.

17. El diagrama de la figura 3.16 se creó para un proyecto que usted está administrando. Suponga que le interesa encontrar la forma de acelerar el proyecto con un costo adicional mínimo. Determine el programa para completar el proyecto en 25 días al costo mínimo. Los costos de penalización y los costos generales del proyecto son insignificantes. En la tabla 3.11 se presentan los datos sobre los tiempos y costos de cada actividad.

FIGURA 3.16 | Diagrama de red para el problema 17

18. Paul Silver, propietario de Sculptures International, acaba de poner en marcha un nuevo proyecto de artes plásticas. Se dispone de los siguientes datos acerca de este proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	4	—
B	1	—
C	3	A
D	2	B
E	3	C, D

TABLA 3.11 | Actividades y datos de costos del proyecto

	Normal		Compresión	
Actividad	Tiempo (días)	Costo ($)	Tiempo (días)	Costo ($)
A	12	1,300	11	1,900
B	13	1,050	9	1,500
C	18	3,000	16	4,500
D	9	2,000	5	3,000
E	12	650	10	1,100
F	8	700	7	1,050
G	8	1,550	6	1,950
H	2	600	1	800
I	4	2,200	2	4,000

a. Trace el diagrama de red correspondiente al proyecto.
b. Determine la ruta crítica y la duración del proyecto.
c. ¿Cuál es la holgura total de cada actividad?

19. Reliable Garage está terminando la producción del automóvil para armar J2000. Se dispone de los siguientes datos acerca del proyecto:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	2	—
B	6	A
C	4	B
D	5	C
E	7	C
F	5	C
G	5	F
H	3	D, E, G

a. Trace el diagrama de red correspondiente al proyecto.
b. Determine la ruta crítica y la duración del proyecto.
c. ¿Cuál es la holgura total de cada actividad?

20. La siguiente información se refiere a un nuevo proyecto que su compañía está emprendiendo:

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	10	—
B	11	—
C	9	A, B
D	5	A, B
E	8	A, B
F	13	C, E
G	5	C, D
H	10	G
I	6	F, G
J	9	E, H
K	11	I, J

a. Trace el diagrama de red correspondiente a este proyecto.
b. Determine la ruta crítica y el tiempo de terminación del proyecto.

PROBLEMAS AVANZADOS

21. El gerente de proyecto Good Public Relations ha recopilado los datos que aparecen en la tabla 3.12 para una nueva campaña de publicidad.

a. ¿Cuál es la duración probable del proyecto?
b. ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto requiera más de 38 semanas?
c. Considere la ruta A-E-G-H-J. ¿Cuál es la probabilidad de que esta ruta rebase la duración esperada para este proyecto?

22. Michaelson Construction construye viviendas. Trace una red que muestre las relaciones de precedencia de las actividades mencionadas en la tabla 3.13.

23. Fronc es una empresa que se dedica a coordinar bodas. Beatrice Wright y William Bach han recurrido a Fronc para que les ayude a organizar su boda. Trace una red que muestre las relaciones de precedencia de las actividades mencionadas en la tabla 3.14.

24. En la tabla 3.15 se presenta la información disponible acerca de un proyecto de grandes dimensiones.

a. Determine la ruta crítica y el tiempo de terminación esperado del proyecto.
b. Trace la gráfica del costo total del proyecto, comenzando desde el día 1 hasta llegar a la fecha de terminación esperada del proyecto, suponiendo los tiempos de inicio más próximos para cada actividad. Compare después ese resultado con una gráfica similar de los tiempos de inicio más lejanos. ¿Qué repercusiones tiene esa diferencia de tiempo en los flujos de efectivo y la programación del proyecto?

TABLA 3.12 Datos de actividades para el proyecto de publicidad

	Estimaciones de tiempo (días)			
Actividad	Optimista	Más probable	Pesimista	Predecesor(es) inmediato(s)
A	8	10	12	—
B	5	8	17	—
C	7	8	9	—
D	1	2	3	B
E	8	10	12	A, C
F	5	6	7	D, E
G	1	3	5	D, E
H	2	5	8	F, G
I	2	4	6	G
J	4	5	8	H
K	2	2	2	H

TABLA 3.13 Actividades de construcción de Michaelson Construction

Actividad	Descripción	Actividad	Descripción
Inicio			
A	Instalación de aparatos electrodomésticos	M	Instalaciones de fontanería
B	Permiso de construcción	N	Pintura exterior
C	Alfombras y pisos	O	Pintura interior
D	Muro de piedra	P	Techo
E	Cableado eléctrico	Q	Revestimiento exterior
F	Cimentación	R	Acabados de madera
G	Estructura	S	Colado de los pisos de aceras, rampa de entrada, sótano y cochera
H	Calefacción y aire acondicionado	T	Puertas
I	Aislamiento	U	Ventanas
J	Cocina y gabinetes de baño	V	Accesorios de baño
K	Accesorios de iluminación	W	Sistema de riego por aspersión para el jardín
L	Mudanza	X	Diseño de jardines

TABLA 3.14 Actividades para la boda de Will y Bea Wright-Bach

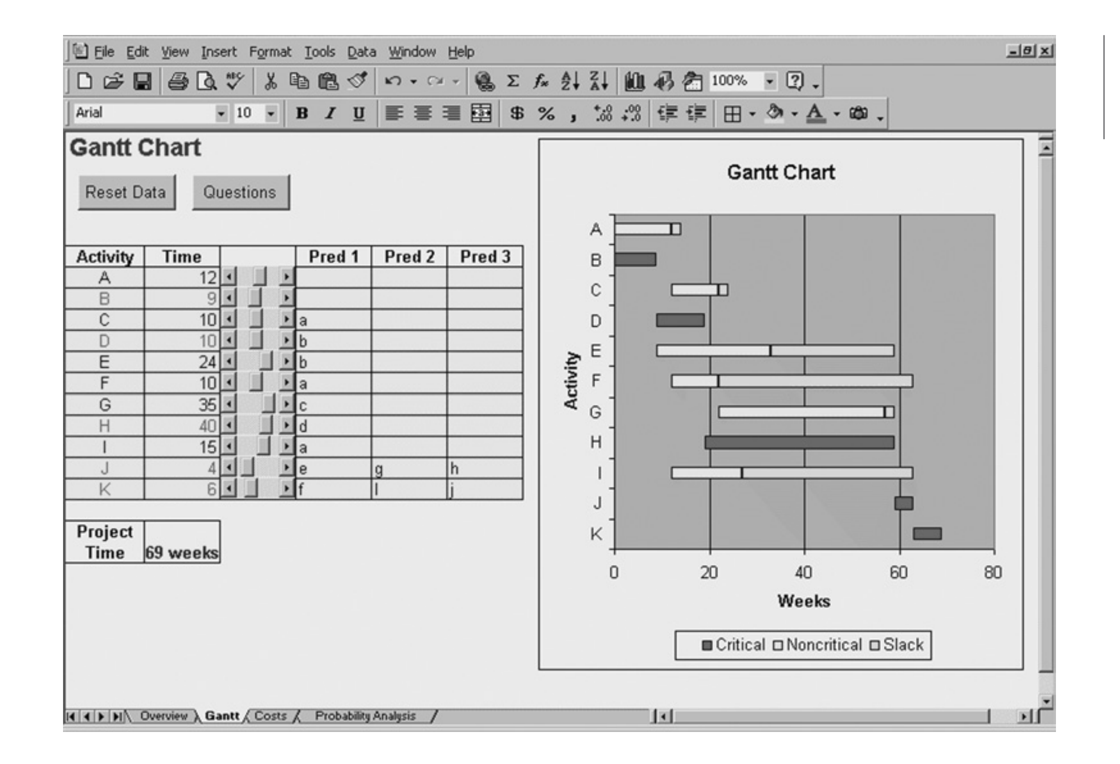
Actividad	Descripción	Actividad	Descripción
Inicio	Aceptación de la propuesta	O	Pedir el pastel, golosinas y almendras
A	Selección e impresión de las invitaciones	P	Fotógrafo
B	Análisis de sangre	Q	Reservación del salón para la recepción
C	Selección de colores	R	Anillos
D1	Vestido de la novia	S	Fiesta de despedida de soltero
D2	Vestidos de las madrinas	T	Alquiler del esmoquin
D3	Vestido de la madre de la novia	U	Acomodadores
D4	Vestido de la madre del novio	V	Reservar la iglesia
E	Determinar el presupuesto y las posibilidades netas de los padres	W	Ceremonia nupcial
F	Flores	X	Selección del padrino del novio, padrinos de anillos
G	Regalos para la fiesta de bodas	Y	Selección de madrinas de la novia, portadoras de flores
H	Planificación de la luna de miel	Z	Ensayo y cena prenupcial
I	Enviar las invitaciones por correo	AA	Acuerdo prenupcial
J	Lista de invitados	BB	Colapso nervioso del novio
K	Servicio de banquetes	CC	Registro para vajilla, cubiertos, regalos
L	Licencia de matrimonio	DD	Banda de música para bailar
M	Menú para la recepción	EE	Notas de agradecimiento
N	Fotos en los periódicos, anuncio en la página de sociales	FF	Final

TABLA 3.15 Actividades y datos sobre costos

Actividad	Tiempo de la actividad (días)	Costo de la actividad ($)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	3	100	—
B	4	150	—
C	2	125	A
D	5	175	B
E	3	150	B
F	4	200	C, D
G	6	75	C
H	2	50	C, D, E
I	1	100	E
J	4	75	D, E
K	3	150	F, G
L	3	150	G, H, I
M	2	100	I, J
N	4	175	K, M
O	1	200	H, M
P	5	150	N, L, O

> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO <

Este Modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante (en inglés). Le permitirá evaluar la sensibilidad del tiempo del proyecto a los cambios en los tiempos y predecesores de las actividades.



MODELO ACTIVO 3.1

Gráfica de Gantt creada con datos tomados del ejemplo 3.2

PREGUNTAS

1. Las actividades B y K son críticas. Describa la diferencia que se produce en la gráfica cuando se incrementa la actividad B frente a lo que ocurre cuando se incrementa la actividad K.
2. La actividad F no es crítica. Use la barra de desplazamiento para determinar cuántas semanas se puede incrementar la actividad F hasta que se vuelva crítica.
3. La actividad A no es crítica. ¿Cuántas semanas se puede incrementar la actividad A hasta que se vuelva crítica? ¿Qué sucede cuando la actividad A se vuelve crítica?
4. ¿Qué sucede si la actividad A se incrementa una semana después de volverse crítica?
5. Suponga que los códigos de construcción cambian y, como resultado, la actividad C tendría que completarse antes de que la actividad D comenzara. ¿Cómo afectaría esto el proyecto?

CASO

El coqueto Studebaker

El nuevo director de operaciones de servicio de Roberts Auto Sales and Service (RASAS) se incorporó a la empresa a principios de este año. Estamos a mediados de febrero. La compañía RASAS está formada por tres distribuidoras de automóviles que venden y dan servicio a automóviles estadounidenses y japoneses de varias marcas, además de dos tiendas de refacciones para automóviles, un espacioso taller de hojalatería y pintura y un depósito de chatarra. Vikky Roberts, la propietaria de RASAS, se inició en el negocio automovilístico cuando heredó de su padre una agencia distribuidora de Studebaker. La Studebaker Corporation ya estaba en decadencia cuando ella se hizo cargo de esta empresa, pero Roberts consiguió capitalizar sus conocimientos y experiencia para convertir su agencia en ese "imperio en miniatura" diversificado y exitoso que es en la actualidad. Su lema "¡Véndelos hoy y repáralos mañana!" refleja una estrategia a la cual ella misma suele referirse en privado como "¡Procura que los clientes no dejen de venir nunca!"

Los automóviles Studebaker siempre han tenido un lugar muy especial en el corazón de Roberts. Estos vehículos se fabricaron en South Bend, Indiana, entre 1919 y 1966, y muchos de ellos siguen funcionando en la actualidad gracias a un gran número de coleccionistas y aficionados leales. La propia Roberts adquirió recientemente un Studebaker Avanti 1963 que necesita un trabajo de restauración bastante considerable. También ha observado un creciente interés del público por la restauración de automóviles clásicos.

Roberts está considerando la posibilidad de expandirse al negocio de restauración de coches clásicos y necesita ayuda para evaluar la viabilidad de esa idea. Además, desea restaurar su Avanti 1963 para dejarlo como nuevo o, cuando menos, en las mejores condiciones posibles. Si decide incursionar en el negocio de restauración de automóviles, podrá usar el Avanti como modelo de exposición para ventas y publicidad y llevarlo a exhibiciones automovilísticas con el propósito de atraer clientes a su nuevo taller.

Roberts considera que a muchas personas les entusiasma restaurar por sí mismas un vehículo antiguo, pero no tienen tiempo para conseguir todas las partes necesarias. Hay otras que sólo desean tener un automóvil clásico porque es diferente, y muchas poseen una gran cantidad de dinero para pagarle a alguien por realizar la restauración.

Roberts desea que la nueva empresa sea capaz de atraer a ambos tipos de clientes. En el caso del primer grupo, ha pensado en fungir como intermediaria para ayudarles a conseguir "nuevas partes viejas", es decir, partes nuevas que fueron fabricadas hace muchos años y que aún se encuentran en sus cajas y empaques originales. Conseguir la parte apropiada suele ser un proceso que consume mucho tiempo. RASAS también tendría la posibilidad de fabricar partes nuevas para sustituir las que ya no existan o sean difíciles de encontrar.

Además, RASAS podría reunir una biblioteca de manuales de partes y carrocerías de automóviles viejos que serviría como un valioso recurso de información para quienes decidieran restaurar automóviles por su cuenta. Estos últimos acudirían a RASAS en busca de ayuda para compilar sus listas de partes y RASAS podría conseguírselas. Otros preferirían que RASAS se hiciera cargo de todo el proceso de restauración.

Roberts ha solicitado al nuevo director de operaciones de servicio que revise en forma minuciosa su automóvil Avanti y decida qué se necesita para que vuelva a estar exactamente en las mismas condiciones que cuando salió de la fábrica, hace más de 40 años. Desea restaurarlo a tiempo para poder exhibirlo en el Encuentro Nacional Studebaker, en Springfield, Missouri. Si el vehículo lograra ganar el primer premio en su categoría, esto constituiría un excelente golpe publicitario para RASAS, sobre todo si Roberts decide finalmente emprender operaciones en esta nueva línea de negocios. Pero aunque decidiera no hacerlo, el automóvil sería una pieza de exhibición para el resto de la empresa.

Roberts ha pedido al director de operaciones de servicio que aplique el método PERT/CPM para preparar un informe sobre lo que se necesita para restaurar el automóvil y si es factible terminar la restauración a tiempo para presentar el auto en el encuentro de Springfield que se celebrará dentro de 45 días. El gerente de partes, el gerente de hojalatería y el jefe de mecánicos han proporcionado las siguientes estimaciones de los tiempos y tareas que habría que realizar, junto con sus correspondientes estimaciones de costos.

- Pedir todas las partes y materiales necesarios (tapicería, parabrisas, carburador y bomba de aceite). Tiempo: 2 días. Costo (llamadas telefónicas y mano de obra): S100.
- Recibir el material de tapicería para las fundas de los asientos. No se puede hacer mientras no se haga el pedido. Tiempo: 30 días. Costo: $250.
- Recibir el parabrisas. No se puede hacer mientras no se haga el pedido. Tiempo: 10 días. Costo: $130.
- Recibir el carburador y la bomba de aceite. No se puede hacer mientras no se haga el pedido. Tiempo: 7 días. Costo: $180.
- Retirar las partes cromadas de la carrocería. Puede hacerse de inmediato. Tiempo: 1 día. Costo: $50.
- Retirar la carrocería (puertas, capó, maletero y guardabarros) del bastidor. No puede hacerse sino hasta que se hayan retirado las partes cromadas. Tiempo: 1 día. Costo: $150.
- Enviar los guardabarros a reparación en el taller de hojalatería. No puede hacerse mientras no se retire la carrocería del bastidor. Tiempo: 4 días. Costo: $200.
- Reparar las puertas, el maletero y el capó. No puede hacerse mientras no se retire la carrocería del bastidor. Tiempo: 6 días. Costo: $300.
- Sacar el motor del chasis. Se hará después de que se retire la carrocería del bastidor. Tiempo: 1 día. Costo: $50.
- Quitar la herrumbre del bastidor. Se hará después de sacar el motor del chasis. Tiempo: 3 días. Costo: $300.
- Rectificar las válvulas del motor. Es necesario sacar antes el motor del chasis. Tiempo: 5 días. Costo: $500.
- Cambiar el carburador y la bomba de aceite. Se hará después de sacar el motor del chasis y cuando se haya recibido el carburador y la bomba de aceite. Tiempo: 1 día. Costo: $50.

- Volver a cromar las partes que lo requieren. Dichas partes deberán haberse retirado previamente de la carrocería. Tiempo: 3 días. Costo: $150.
- Reinstalar el motor. Se hará después de rectificar las válvulas y cuando la bomba de aceite y el carburador ya estén instalados. Tiempo: 1 día. Costo: $150.
- Volver a instalar las puertas, el capó y el maletero en el bastidor. Para entonces, las puertas, el capó y maletero ya deben haberse reparado. También se deberá haber quitado previamente la herrumbre al bastidor. Tiempo: 1 día. Costo: $80.
- Reconstruir la transmisión y volver a colocar los frenos. Se hará después de que el motor haya sido reinstalado y las puertas, el capó y el maletero estén colocados de nuevo en el bastidor. Tiempo: 4 días. Costo: $700.
- Cambiar el parabrisas. Para eso, ya debe de haberse recibido el parabrisas. Tiempo: 1 día. Costo: $70.
- Volver a instalar los guardabarros. Para entonces, ya se habrán reparado, la transmisión se habrá reconstruido y los frenos se habrán cambiado. Tiempo: 4 días. Costo; $60.
- Pintar el automóvil. No puede hacerse sino hasta que los guardabarros vuelvan a colocarse y el parabrisas se haya reinstalado. Tiempo: 4 días. Costo: $1,700.
- Volver a tapizar el interior del vehículo. Previamente deberá haberse recibido el material para el trabajo de tapicería. También será necesario que el automóvil ya esté pintado. Tiempo: 7 días. Costo: $1,200.
- Reinstalar las partes cromadas. Para entonces, el vehículo tendrá que estar pintado y dichas partes habrán sido cromadas de nuevo. Tiempo: 1 día. Costo: $50.
- Llevar el automóvil a la exhibición Studebaker en Springfield, Missouri. Ya deberá estar tapizado el interior y las partes cromadas estarán instaladas de nuevo. Tiempo: 2 días. Costo: $500.

Roberts desea limitar los gastos de este proyecto a la cantidad que podría recuperar si vendiera el automóvil restaurado. Ya ha gastado $1,500 en la compra del vehículo.

Además, desea recibir un breve informe sobre algunos aspectos del negocio propuesto; por ejemplo, cómo se integraría este servicio a los demás negocios de RASAS y cuál debería ser la tarea de las operaciones de RASAS en lo referente a costo, calidad, servicio al cliente y flexibilidad.

En opinión de *Turning Wheels*, una publicación para propietarios y conductores de autos Studebaker, y de otros libros sobre restauración de automóviles, hay varias categorías de restauración. La de tipo básico consiste en conseguir que el vehículo funcione y tenga una buena apariencia, pero con una restauración perfecta se le devuelve su condición original, tal como estaba "cuando salió de la fábrica". En los concursos de automóviles restaurados, los que están en perfectas condiciones tienen ventaja sobre los que sólo han recibido una restauración básica. Además de la restauración, los coches antiguos también pueden personalizarse. Es decir, se les añade algo que no podrían haber tenido en su versión original. Los vehículos personalizados compiten en una categoría diferente. Roberts desea que la restauración deje su coche en perfectas condiciones, sin personalización alguna. (El nuevo servicio que piensa crear aceptaría cualquier tipo de restauración que el cliente solicitara).

El presupuesto total no deberá exceder de $8,500, incluidos los $1,500 que Roberts ya gastó. Además, Roberts no puede gastar más de $1,700 por semana, dada su actual posición financiera. A pesar de que gran parte del trabajo requerido será realizado por los propios empleados de Roberts, es necesario considerar los costos de mano de obra y materiales. En las estimaciones de costos se han incluido todos los pertinentes.

PREGUNTAS

1. Tomando como base la información que se le ha proporcionado, elabore el informe que Roberts solicita, suponiendo que el proyecto comenzará de inmediato. Suponga que se dispone de 45 días hábiles para completar el proyecto, lo cual incluye transportar el vehículo a Springfield antes del inicio del encuentro. Su informe deberá describir brevemente los diversos aspectos del nuevo negocio propuesto, como las prioridades competitivas que Roberts solicitó.
2. Prepare una tabla que contenga las diversas actividades de este proyecto, asignando una letra a cada actividad e indicando las estimaciones de tiempo y las relaciones de precedencia a partir de las cuales construirá usted el diagrama de red.
3. Trace un diagrama de red del proyecto similar al que aparece en la figura 3.5. Determine las actividades incluidas en la ruta crítica y la holgura estimada para cada actividad.
4. Prepare un presupuesto para el proyecto que muestre el costo de cada actividad y el de todo el proyecto. ¿Puede completarse el proyecto dentro de lo previsto en el presupuesto? ¿Hay algunos problemas de flujo de efectivo? De ser así, ¿Cómo podría Roberts solucionarlos?

Fuente: Este caso fue preparado por la profesora Sue Perrott Siferd, Arizona State University, y se reproduce aquí por cortesía de la autora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bloom, R., "Software for Project Management", *Transportation & Distribution*, volumen 34 (1993), pp. 33–34.

Branston, Lisa, "Construction Firms View the Web As a Way to Get Out from Under a Mountain of Paper", *The Wall Street Journal*, 15 de noviembre de 1999.

Caland, D. I., *Project Management: Strategic Design and Implementation,* Nueva York, McGraw-Hill, 1994.

Day, P. J., *Microsoft Project 4.0 for Windows and the Macintosh: Setting Project Management Standards,* Nueva York, Van Nostrand Reinhold, 1995.

Goldratt, E. M. *Critical Chain*, Great Banington, MA, North River, 1997.

Hartvigsen, David. *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. ed., Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

IPS Associates, *Project Management Manual*, Boston: Harvard Business School Publishing, 1996.

Kerzner, Harold, *Advanced Project Management: Best Practices on Implementation,* 2a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 2004.

Kerzner, Harold, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling,* 6a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 1998.

Leach, Larry P., "Critical Chain Project Management Improves Project Performance", *Project Management Journal*, junio de 1999, pp. 39–51.

Lewis, J. P. *Mastering Project Management*, Nueva York, McGraw-Hill, 1998.

Littlefield, T. K. y P. H. Randolph, "PEAT Duration Times: Mathematical or MBO", *Interfaces*, volumen 21, número 6 (1991), pp. 92–95.

Mantel Jr., Samuel J., Jack R. Meredith, Scott M. Shafer y Margaret M. Sutton, *Project Management in Practice*, 2a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 2005.

Meredith, Jack R. y Samuel J. Mantel, *Project Management: A Managerial Approach,* 5a. ed., Nueva York, John Wiley & Sons, 2003.

Nichols, John M., *Managing Business and Engineering Projects,* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990.

Pellegrinelli, Sergio y Cliff Bowman, "Implementing Strategy Through Projects", *Long Range Planning*, volumen 27, número 4 (1994), pp. 125–132.

"Project Management Body of Knowledge", se puede conseguir en el Project Management Institute en www.pmi.org.

"Project Management Software Buyer's Guide", *Industrial Engineering,* marzo de 1995, pp. 36–37.

Srinivasan, Mandyam, Darren Jones y Alex Miller, "CORPS Capabilities", *APICS Magazine,* marzo de 2005, pp. 46–50.

4

PARTE 2

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Explicar las cuatro decisiones principales sobre los procesos.
2. Situar un proceso en la matriz de contacto con el cliente o en la matriz de procesos y productos.
3. Relacionar la elección del proceso con la estrategia de inventario.
4. Identificar las ventajas y desventajas de la participación del cliente.
5. Explicar la automatización, intensidad de capital, economías de alcance y enfoque.
6. Explicar cómo deben concordar las decisiones sobre los procesos.
7. Definir qué es la reingeniería y el mejoramiento de los procesos.



La nueva estructura en Duke Power requiere colaboración entre los gerentes de procesos y los vicepresidentes regionales. El trabajo en equipo es esencial en el diseño y operación de los procesos.

CAPÍTULO 4

Estrategia de procesos

DUKE POWER

Duke Power es un verdadero precursor del proceso empresarial. La división de servicio de energía eléctrica de Duke Energy, Duke Power, atiende a casi 2 millones de clientes en Carolina del Norte y Carolina del Sur. En 1995, en vista de la inminente desregulación, la compañía entendió que sus procesos tenían que brindar un servicio mucho mejor a los clientes. Sin embargo, la estructura organizacional existente de Operaciones con los clientes, unidad responsable de suministrar energía eléctrica a los clientes, se estaba interponiendo en el camino de las mejoras de los procesos. La unidad se dividía en cuatro centros regionales de utilidad, y los vicepresidentes regionales tenían poco tiempo para lidiar con las mejoras de los procesos de atención a clientes.

Para resolver el problema, Duke Power identificó los cinco procesos centrales que en conjunto abarcaban el trabajo esencial de Operaciones con los clientes: formular estrategias de mercado, mantener a los clientes, ofrecer fiabilidad e integridad, entregar productos y servicios, y calcular y cobrar los ingresos. A cada proceso se le asignó un responsable, y los cinco responsables de los procesos, al igual que los cuatro vicepresidentes regionales existentes, trabajan ahora directamente bajo el mando del director de Operaciones con los clientes.

Con la nueva estructura, los vicepresidentes regionales continúan administrando a su propio personal (los responsables de los procesos sólo tienen equipos pequeños), pero a los responsables de los procesos se les ha conferido una amplia autoridad sobre el diseño y operación de los procesos. Ellos deciden cómo se llevará a cabo el trabajo en cada paso. Establecen objetivos de desempeño y fijan los presupuestos de las diferentes regiones. En otras palabras, aunque las regiones tienen autoridad sobre la gente, se les evalúa con base en la forma como cumplen con las metas establecidas por los responsables de los procesos. Esta estructura requiere un nuevo estilo de administración en colaboración, en el que los gerentes de los procesos y los vicepresidentes regionales actúen como socios en lugar de comportarse como rivales. Los equipos están compuestos por personas que poseen amplios conocimientos sobre los procesos



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

y se les evalúa de acuerdo con su desempeño. Asumen la mayoría de las responsabilidades directivas que por lo general tienen los supervisores. Los supervisores, a su vez, actúan más bien como entrenadores. Debido a que los mismos empleados participan a menudo en varios procesos, a veces simultáneamente, éstos se traslapan.

Las mejoras continúan implementándose. El Centro de Atención a Clientes ahora funciona las 24 horas del día, todos los días, para brindar asistencia a los clientes que desean hacer consultas sobre sus recibos o solicitudes de servicio. En 2003 se puso en marcha un sistema electrónico de facturación y pagos. Las tarifas de Duke Power por el suministro de energía eléctrica se clasificaron entre las más bajas de Estados Unidos, el servicio que proporciona a sus clientes ocupa el primero o segundo lugar entre las compañías que distribuyen energía eléctrica y la Agencia Federal de Protección Ambiental de ese país distinguió a la empresa con el Premio de Excelencia de Aire Limpio 2004.

Fuente: Steven Stanton, "How Process Enterprises Really Work," *Harvard Business Review* noviembre-diciembre de 1999, pp. 108–117; www.duke-energy.com/ (17 de febrero de 2005).

estrategia de procesos
La serie de decisiones que se toman en la administración de los procesos para que éstos realicen sus prioridades competitivas.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Rendimiento y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

Las decisiones sobre los procesos son de índole estratégica: como se vio en el capítulo 2, deben promover las metas competitivas a largo plazo de la compañía. Al tomar decisiones sobre los procesos, los gerentes se centran en controlar las prioridades competitivas, como calidad, flexibilidad, tiempo y costo. La administración de procesos es una actividad continua, en la que los mismos principios aplican tanto para las decisiones que se toman por primera vez como para las de rediseño. Así, los procesos en Duke Power se encuentran en cambio constante.

Este capítulo se centra en la **estrategia de procesos,** que especifica la serie de decisiones que se toman en la administración de los procesos para que éstos realicen sus prioridades competitivas. La estrategia de procesos guía una variedad de decisiones sobre los procesos y, a su vez, se guía por la estrategia de operaciones y la capacidad de la organización para obtener los recursos necesarios para sustentarlas. Para empezar, se definirán cuatro decisiones básicas sobre los procesos: la estructura de los procesos, la participación del cliente, la flexibilidad de los recursos y la intensidad del capital. Estas decisiones se analizan desde el punto de vista de los procesos de manufactura y de servicios, y también de los métodos para enfocar las operaciones. Se presta especial atención a la forma en que estas decisiones se ajustan unas a otras, dependiendo de factores como las prioridades competitivas, el contacto con los clientes y el volumen. El capítulo concluye con dos estrategias básicas de cambio para analizar y modificar los procesos: la reingeniería y el mejoramiento continuo de los procesos. Sin embargo, una estrategia de procesos coherente también es clave para administrar con eficacia las cadenas de valor (parte 3). Cada proceso de la cadena debe diseñarse para realizar sus prioridades competitivas y agregar valor al trabajo realizado.

> ESTRATEGIA DE PROCESOS EN LA ORGANIZACIÓN <

Como se explicó en el capítulo 1, los procesos están en todas partes y son la unidad básica de trabajo. Se encuentran en Contabilidad, Finanzas, Recursos humanos, Sistemas de información administrativa, Marketing y Operaciones. Los gerentes de todos los departamentos deben asegurarse de que sus procesos agreguen el mayor valor posible para el cliente. Deben entender que muchos procesos traspasan las líneas organizativas, independientemente de que la empresa esté organizada por líneas funcionales, de productos, regionales o de procesos.

La unidad de operaciones con los clientes de Duke Power tenía cinco procesos centrales que traspasaban las fronteras entre sus cuatro regiones. El "proceso de calcular y cobrar los ingresos" se alinea más estrechamente con Contabilidad, el "proceso de entregar productos y servicios" con Operaciones; el "proceso de formular estrategias de mercado" y el "proceso de mantener a los clientes" con Marketing, y el "proceso de ofrecer fiabilidad e integridad" con Control de calidad. La coordinación entre funciones fructificó en un mejor desempeño. Este beneficio se produjo, en parte, gracias a la reorganización en la que se crearon responsables de los procesos, pero también porque se creó un nuevo estilo de administración en colaboración. Los responsables de los procesos y los vicepresidentes regionales actuaban más como socios que como rivales.

ESTRATEGIA DE PROCESOS

Un proceso implica el uso de los recursos de una organización para producir algo de valor. Ningún servicio puede prestarse y ningún producto puede fabricarse sin un proceso, y ningún proceso puede existir sin un servicio o producto por lo menos. Una cuestión recurrente en la administración de procesos es decidir *cómo* proporcionar los servicios o fabricar los productos. Se toman muchas decisiones diferentes para seleccionar los recursos humanos, equipo, servicios subcontratados, materiales, flujos de trabajo y métodos que transformarán los insumos en productos. Otra decisión se refiere a qué procesos se llevarán a cabo internamente y cuáles se subcontratarán, es decir, cuáles se realizarán fuera de la empresa y se comprarán como materiales y servicios. Esta decisión ayuda a definir la cadena de valor y se explica en capítulos posteriores.

Las decisiones de mejoramiento de los procesos deben tomarse cuando:

- Existe una brecha entre las prioridades competitivas y las capacidades competitivas.
- Se ofrece un producto o servicio nuevo o modificado sustancialmente.
- Es necesario mejorar la calidad.
- Han cambiado las prioridades competitivas.
- La demanda de un servicio o producto está cambiando.
- El desempeño actual es inadecuado.
- Ha cambiado el costo o la disponibilidad de los insumos.
- Los competidores ganan terreno por el uso de un nuevo proceso.
- Se hallan disponibles nuevas tecnologías.
- Alguien tiene una idea mejor.

El impacto en el medio ambiente es otra consideración que cada vez cobra mayor importancia, en especial en Europa y Estados Unidos. Un buen ejemplo es McDonald's, en donde se hicieron cambios sutiles en los procesos que se seguían para empacar la comida, se redujo el desperdicio en más de 30% desde 1990 y se convirtió en uno de los principales compradores de materiales reciclados en Estados Unidos. Esto supuso cambiar las cajas de "almeja" por papel especial ligero, introducir servilletas más pequeñas y depender menos del plástico para las pajillas, bandejas para comer y equipo de juegos. McDonald's estudia ahora un plan para convertir los desechos en fertilizante, con el propósito de lograr que comer en sus restaurantes genere menos desechos que comer en muchos hogares.

La preocupación por la ecología en las decisiones sobre los procesos también ha aumentado en el sector manufacturero. En 1991, General Motors descubrió que generaba 40 kilogramos de desechos y basura por cada automóvil que armaba. Después de estudiar sus procesos poniendo énfasis especial en los desechos, la cantidad de desechos sólidos se redujo a sólo 6.8 kilogramos. El enfoque en la contaminación y los desechos cobró ímpetu a escala internacional cuando la International Organization of Standards adoptó la serie de normas ISO 14001 en 1996. **ISO 14001** es un conjunto de normas que las empresas pueden aplicar para eliminar la contaminación, como el establecimiento de un sistema formal y base de datos para monitorear el desempeño ecológico. Desde 1996, más de 250,000 empresas han sido certificadas en más de 50 países, y la tasa de certificación crece por lo menos en 50,000 cada año.

ISO 14001
Un conjunto de normas que las empresas pueden aplicar para eliminar la contaminación.

Hay tres principios relativos a las decisiones sobre los procesos que revisten importancia especial.

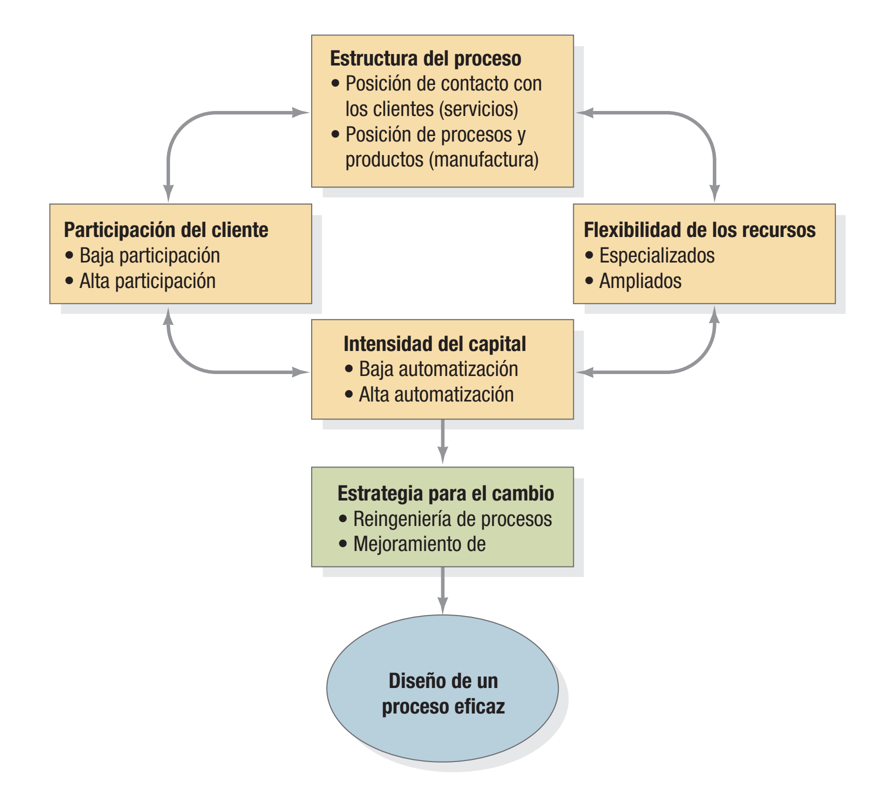
1. La clave de las decisiones exitosas sobre los procesos radica en elegir opciones apropiadas para la situación y que funcionan bien en conjunto. Dichas opciones no deben contraponerse, como cuando un proceso se optimiza a costa de los demás. Un proceso más eficaz es aquel cuyas características esenciales concuerdan y tiene un buen *ajuste estratégico.*
2. Aunque esta sección del texto se centra en los procesos individuales, éstos son los componentes básicos que finalmente crean toda la cadena de valor de la empresa. El efecto acumulado en la satisfacción del cliente y la ventaja competitiva es enorme.
3. Ya sea que los procesos que intervienen en la cadena de valor se ejecuten internamente o por proveedores externos, la gerencia debe prestar especial atención a las relaciones entre los procesos. El tener que lidiar con estas interrelaciones subraya la necesidad de que exista coordinación entre las diferentes funciones.

DECISIONES PRINCIPALES SOBRE LOS PROCESOS

Las decisiones sobre los procesos afectan directamente al propio proceso e indirectamente a los servicios y productos que produce. Ya sea que se trate de procesos para oficinas, proveedores de servicios o fabricantes, los gerentes de operaciones deben considerar cuatro decisiones comunes sobre los procesos.

FIGURA 4.1

Principales decisiones para procesos eficaces



estructura del proceso

Decisión que determina cómo se diseñarán los procesos en relación con los tipos de recursos necesarios, cómo se repartirán los recursos entre los procesos y las características fundamentales de éstos.

participación del cliente

Es el modo en que los clientes forman parte del proceso y el grado de dicha participación.

flexibilidad de los recursos

Es la facilidad con la que los empleados y el equipo manejan una amplia variedad de productos, niveles de producción, tareas y funciones.

intensidad del capital

Es la mezcla de equipo y habilidades humanas que intervienen en un proceso.

La figura 4.1 muestra que todas ellas son pasos importantes para el diseño de un proceso eficaz.

- La **estructura del proceso** determina cómo se diseñarán los procesos en relación con los tipos de recursos necesarios, cómo se repartirán los recursos entre los procesos y las características fundamentales de éstos. Cuando se trata de servicios, entre los primeros aspectos que deben tomarse en cuenta para tomar estas decisiones están la cantidad y tipo deseados de contacto con los clientes y las prioridades competitivas que el diseño del proceso debe contemplar. En cuanto a los procesos de manufactura, los primeros aspectos son el nivel de volumen, la cantidad de personalización y, una vez más, las prioridades competitivas. Comprender estas conexiones ayuda al gerente a detectar posibles desalineaciones en los procesos, lo que allana el camino para la reingeniería y las mejoras de los procesos.
- La **participación del cliente** refleja el modo en que los clientes forman parte del proceso y el grado de dicha participación.
- La **flexibilidad de los recursos** es la facilidad con la que los empleados y el equipo manejan una amplia variedad de productos, niveles de producción, tareas y funciones.
- La **intensidad del capital** es la mezcla de equipo y habilidades humanas que intervienen en un proceso. Cuanto mayor sea el costo relativo del equipo, tanto mayor será la intensidad del capital.

Estas cuatro decisiones se entienden mejor al nivel del proceso o subproceso que al nivel de la empresa. Las decisiones sobre los procesos actúan como componentes básicos que se usan de diferentes maneras para lograr procesos eficaces.

ESTRUCTURA DE LOS PROCESOS EN SERVICIOS

Una de las primeras decisiones que toma un gerente para diseñar un proceso que funcione bien es elegir el tipo de proceso que realiza mejor la importancia relativa de la calidad, tiempo, flexibilidad y costo de dicho proceso. Las estrategias para diseñar los procesos pueden ser muy diferentes, dependiendo de si se está proporcionando un servicio o se está fabricando un producto. Iniciaremos con los procesos de servicio, dada la enorme proporción de la población económicamente activa que trabaja en este sector en los países industrializados.

NATURALEZA DE LOS PROCESOS DE SERVICIO: CONTACTO CON EL CLIENTE

Una estrategia eficaz de los procesos de servicio en una situación puede ser una mala elección en otra. Una estrategia de procesos que logra que los clientes entren y salgan pronto de un restauran-

te de comida rápida no sería la estrategia de procesos correcta para un restaurante de cinco estrellas, donde los clientes desean pasar un rato agradable y comer sin ninguna prisa. Además, una buena estrategia para los camareros de un restaurante sería totalmente inadecuada para un proceso en la oficina comercial del restaurante. En ocasiones, los economistas ponen a las organizaciones de servicio en diferentes clasificaciones industriales, como servicios financieros, servicios de salud, educación, y cosas por el estilo. Estas distinciones ayudan a entender los datos económicos agregados e incluso algunas tendencias generales de las decisiones sobre los procesos de una empresa. Sin embargo, las clasificaciones no son tan útiles cuando se trata de diseñar un proceso en lo individual. Por ejemplo, ningún plano estándar muestra cómo debe realizarse el trabajo en la industria bancaria. Para tener una idea clara, es preciso empezar en el nivel del proceso y reconocer las variables contextuales más importantes que se relacionan con dicho proceso. Sólo así podrán reconocerse los patrones apropiados y ver cómo deben agruparse las decisiones.

Una buena estrategia para un proceso de servicio depende sobre todo del tipo y cantidad de contacto con el cliente. El **contacto con el cliente** es la medida en que el cliente está presente, participa activamente y recibe atención personal durante el proceso de servicio. En contraste con un proceso de manufactura, el cliente puede ser parte significativa del propio proceso. La figura 4.2 muestra varias dimensiones de contacto con el cliente. El concepto de procesos anidados aplica al contacto con el cliente, porque algunas partes de un proceso pueden requerir poco contacto y otras mucho. Además, incluso un subproceso puede tener un nivel alto de contacto en algunas dimensiones y bajo en otras.

contacto con el cliente
La medida en que el cliente está presente, participa activamente y recibe atención personal durante el proceso de servicio.

La figura 4.2 muestra solamente los dos extremos del contacto con el cliente, pero lo que en realidad representan es un continuo. Por lo tanto, hay muchos niveles posibles en cada una de las cinco dimensiones. Sólo cuando se toman en conjunto, se puede medir verdaderamente el tipo y grado de contacto con el cliente. Por ejemplo, es posible que el cliente no se encuentre presente físicamente, pero aun así sigue teniendo un alto contacto porque participa activamente en el proceso, como ocurre en eBay y otras formas de interacciones en Internet que se manejan sin ningún tipo de contacto personal.

La primera dimensión del contacto con el cliente es si éste se encuentra físicamente presente durante el proceso. El contacto con el cliente es importante en todos los tipos de procesos. La cantidad de contacto puede aproximarse como el porcentaje del tiempo total que el cliente está en el proceso, en relación con el tiempo total para completar el servicio. Cuando más alto sea el porcentaje de tiempo que el cliente está presente, tanto mayor será el contacto con el cliente. La interacción cara a cara, en ocasiones llamada *momento de la verdad* o *encuentro de servicio,* reúne al cliente y al proveedor del servicio. En ese momento, se determinan las actitudes del cliente sobre la calidad del servicio proporcionado. Muchos procesos que requieren la *presencia física* del cliente se hallan en el cuidado de la salud, los servicios de hospitalidad y los productos manufactureros personalizados que requieren aportes del cliente. Cuando se requiere la presencia física, el cliente va al centro de servicio, o los proveedores del servicio y equipo van con el cliente. Los dos modos permiten que el cliente esté presente mientras se crea el servicio.

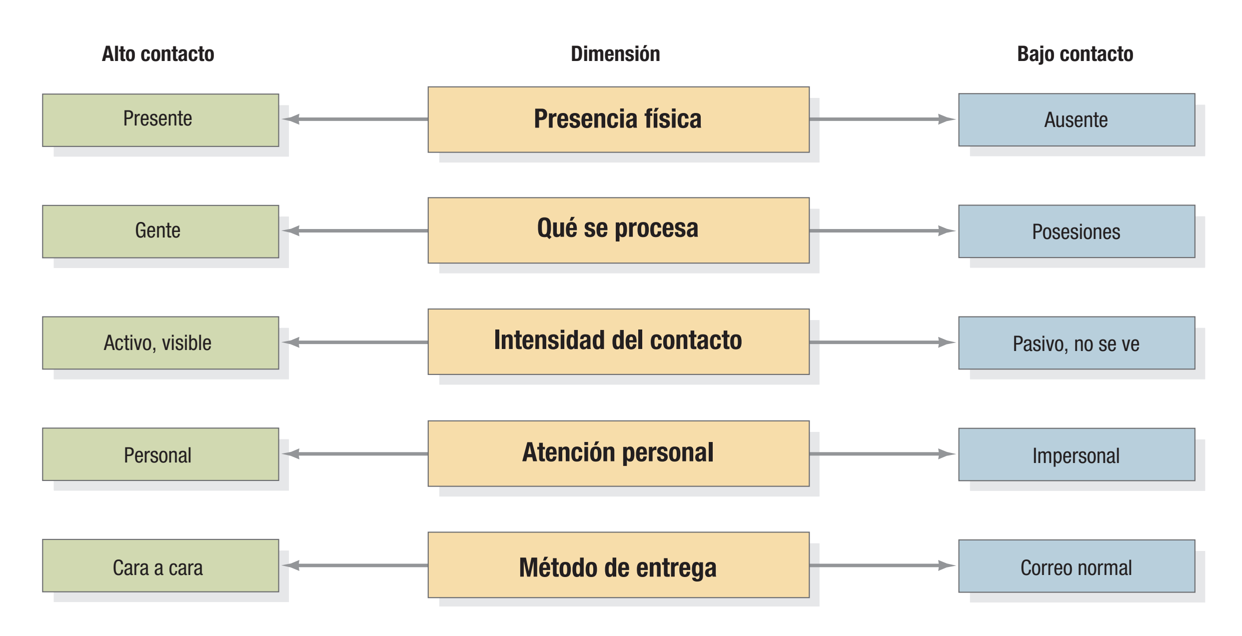


FIGURA 4.2 | Diferentes dimensiones del contacto con el cliente en los procesos de servicio

La gerente de una sucursal bancaria atiende a unos clientes sentada en su escritorio. En este proceso de alto contacto, el cliente no sólo está presente, sino que también participa activamente y recibe atención personal.



La segunda dimensión es *qué se procesa* en el encuentro de servicio. Los *servicios que involucran gente en el proceso* son aquellos que se proporcionan *a* la persona y no *para* la persona, y por lo tanto, requieren la presencia física. Los clientes se convierten en parte del proceso, por lo que la producción y el consumo del servicio se realizan de modo simultáneo. Los *servicios que procesan posesiones* (muchos de estos procesos se encuentran en el comercio electrónico, el transporte de carga, la instalación, mantenimiento y reparación de equipo y el almacenamiento) suponen acciones tangibles en objetos físicos que proporcionan valor al cliente. El objeto debe estar presente durante el procesamiento, pero no el cliente. El servicio se consume después de que concluye el proceso, en lugar de ocurrir al mismo tiempo que la creación del servicio. El contacto con el cliente también se establece con *servicios basados en información,* que recopilan, manipulan, analizan y transmiten datos que tienen valor para el cliente. Dichos procesos son comunes en las áreas de seguros, noticias, banca, educación y servicios jurídicos.

contacto activo

El cliente participa en gran medida en la creación del servicio y afecta el propio proceso del servicio.

contacto pasivo

El cliente no interviene en la adaptación del proceso para satisfacer necesidades especiales o en cómo se realiza el proceso.

La *intensidad del contacto con el cliente* va un paso más allá de la presencia física y de lo que se procesa. Tiene que ver con el grado hasta el cual el proceso da cabida al cliente e implica un nivel considerable de interacción y personalización del servicio. El **contacto activo** significa que el cliente participa en gran medida en la creación del servicio y afecta el propio proceso del servicio. El cliente puede personalizar el servicio para ajustarlo a sus necesidades específicas e incluso decidir en parte cómo se realizará el proceso. Generalmente, el contacto activo implica que el proceso es visible para el cliente. En muchos procesos de servicios dentales, arreglo del cabello o psiquiátricos debe haber contacto activo. El **contacto pasivo** significa que el cliente no interviene en la adaptación del proceso para satisfacer necesidades especiales o en cómo se realiza el proceso. Incluso si el cliente está presente, simplemente puede estar sentado en una sala de espera, hacer fila o quizá estar acostado en una cama de hospital. Muchos procesos donde el cliente se encuentra presente, pero en los que el contacto es pasivo, se hallan en el transporte público o en los teatros. La interacción con el personal del servicio es limitada.

La cuarta dimensión es el grado de *atención personal* proporcionada. Los procesos de alto contacto son más íntimos y denotan confianza mutua entre el proveedor del servicio y el cliente. También pueden implicar un intercambio más rico de información entre el cliente y el proveedor del servicio. Por ejemplo, el conserje de The Ritz-Carlton Hotel brinda a los huéspedes más atención personal de la que éstos recibirían en Days Inn. Cuando el contacto es más personal, el cliente suele *experimentar* el servicio, en vez de sólo recibirlo. Se opera cierto cambio en el cliente. El contacto impersonal se ubica en el otro extremo del continuo, en el contacto con el cliente. En un proceso menos íntimo, por ejemplo, el cliente podría avanzar por un flujo de trabajo estandarizado o hacer fila en una taquilla.

La última dimensión del contacto con el cliente es el *método de entrega.* En un proceso de alto contacto se usaría la comunicación cara a cara o el teléfono, lo que garantiza más claridad en la identificación de las necesidades del cliente y en la entrega del servicio. En un proceso de bajo contacto probablemente se usaría un medio menos personal para entregar el servicio. El correo normal o los mensajes estandarizados de correo electrónico serían el método preferente para intercambiar información en un proceso de bajo contacto. El advenimiento de Internet y la ampliación de los canales de distribución electrónica permiten que los procesos que tradicionalmente habían tenido alto contacto con el cliente se conviertan en procesos de bajo contacto. La banca al detalle (menudeo) es un buen ejemplo. Los clientes pueden ir ahora a la tradicional sucursal bancaria o realizar sus operaciones por Internet.

MATRIZ DE CONTACTO CON EL CLIENTE

La matriz de contacto con el cliente, que se muestra en la figura 4.3, reúne tres elementos: el grado de contacto con el cliente, el paquete de servicios y el proceso. Sincroniza el servicio que se proporcionará con el proceso de entrega. La matriz es el punto de partida para evaluar y mejorar un proceso.

Contacto con el cliente y paquete de servicios La dimensión horizontal de la matriz representa el servicio proporcionado al cliente en función del contacto con éste, el paquete de servicios y las prioridades competitivas. Una prioridad competitiva clave es cuánta personalización se necesita. Las posiciones del lado izquierdo de la matriz representan un alto contacto con el cliente y servicios muy personalizados. Es probable que el cliente se encuentre presente y activo cuando las prioridades competitivas exigen más personalización. El proceso es visible para el cliente, que recibe más atención personal. El lado derecho de la matriz representa bajo contacto con el cliente, participación pasiva, menos atención personalizada y un proceso invisible para el cliente.

Complejidad, divergencia y flujo del proceso La dimensión vertical de la matriz de contacto con el cliente se relaciona con tres características del proceso mismo: (1) complejidad; (2) divergencia, y (3) flujo. Cada proceso se puede analizar con base en estas tres dimensiones.

La **complejidad del proceso** es el número y complejidad de los pasos requeridos para ejecutar el proceso. La complejidad depende en parte de la generalidad con que se ha definido el proceso. En un banco, por ejemplo, el proceso de *financiamiento de automóvil* es complejo porque abarca muchos pasos. Uno de los subprocesos anidados en el financiamiento de automóvil es la *solicitud de crédito*. Ésta no es tan compleja porque es sólo una parte del proceso de financiamiento de automóvil y, por lo tanto, comprende menos pasos. Dentro de la solicitud de crédito está anidado, a su vez, el proceso de *documentación del préstamo*. Éste es aún menos complejo porque representa sólo una pequeña parte del proceso global de financiamiento de automóvil. Centrarse en un proceso anidado, que se ha definido de manera más limitada, reduce el número de pasos que habrán de ejecutarse, si todos ellos tiene que realizarlos el mismo proveedor (o equipo) del servicio. Sin embargo, incluso unos cuantos pasos pueden ser complejos.

complejidad del proceso
Es el número y complejidad de los pasos requeridos para ejecutar el proceso.

Divergencia del proceso es el grado hasta el cual el proceso está muy personalizado con considerable flexibilidad en cuanto a cómo se realiza. Si el proceso cambia con cada cliente, prácticamente toda ejecución del servicio es única. Los ejemplos de procesos de servicio altamente divergentes, en los que muchos de los pasos que comprenden cambian con cada cliente, se encuentran en consultoría, derecho y arquitectura. En el caso de los procesos anidados de un arquitecto, terminar el diseño de una casa puede asumir un carácter diferente para cada cliente, incluso si mu-

divergencia del proceso
Es el grado hasta el cual el proceso está muy personalizado con considerable flexibilidad en cuanto a cómo se realiza.

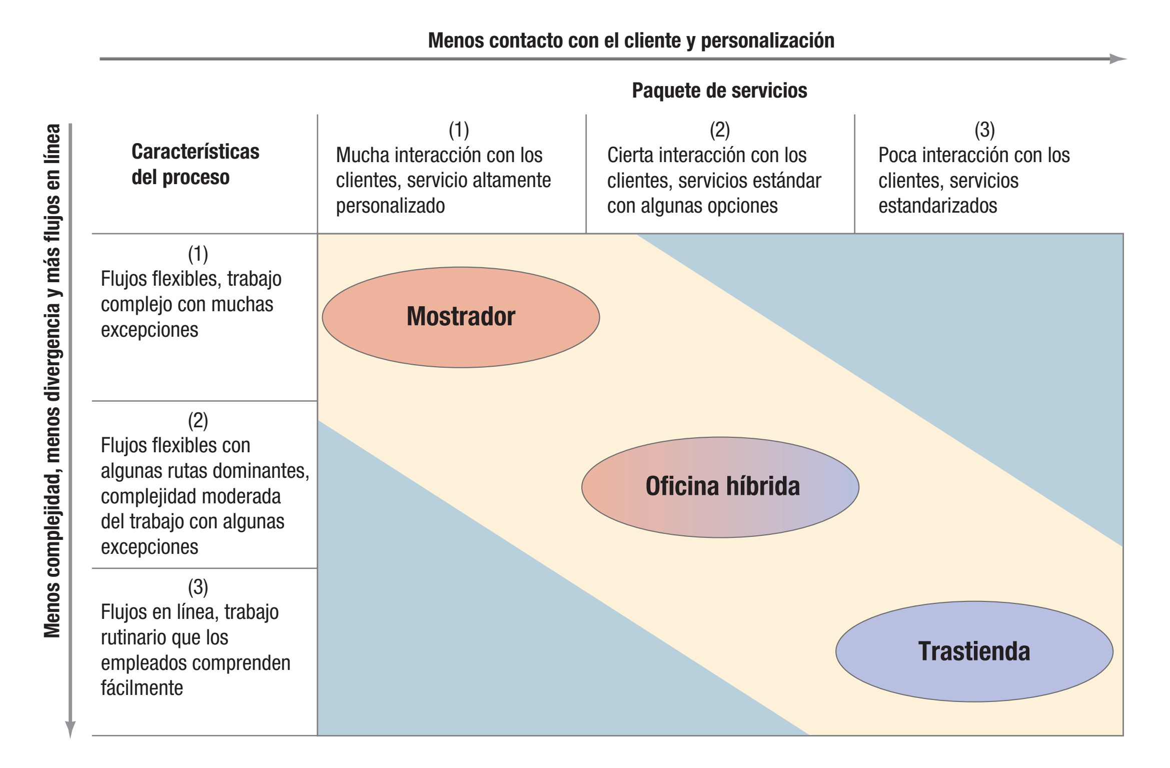


FIGURA 4.3 | Matriz de contacto con el cliente para procesos de servicio

chas actividades son comunes a todos los diseños.Requieren mucho criterio y discrecionalidad, dependiendo de la situación y de lo que el cliente ordene. Los servicios que requieren habilidades interpretativas, como la creación de obras de arte, también son muy divergentes porque la ejecución del proceso es individualizada. Por otro lado, un servicio con poca divergencia es repetitivo y estandarizado. El trabajo se realiza exactamente igual con todos los clientes. Ciertos servicios de hoteles y telefónicos están muy estandarizados para garantizar la uniformidad. En muchos hoteles, cada paso que va desde la limpieza de las habitaciones hasta la preparación y cobro de las facturas está estandarizado y hay documentación y reglas que rigen cómo se ejecuta el proceso.

En estrecha relación con la divergencia se encuentra cómo el cliente, objeto o información que se está procesando fluye a través del centro de servicio. El trabajo avanza por la secuencia de pasos de un proceso, que puede variar entre muy diverso y lineal. Cuando la divergencia es considerable, el flujo de trabajo es flexible. Un **flujo flexible** significa que los clientes, materiales o información se mueven en varias direcciones, y la ruta de un cliente o trabajo a menudo se entrecruza con la ruta que tomará el siguiente. Cada uno puede seguir una ruta cuidadosamente planeada, a pesar de que la primera impresión sea de flujos desorganizados y revueltos. Dicho aspecto es consecuencia natural de la alta divergencia del proceso. Un **flujo en línea** significa que los clientes, materiales o información avanzan linealmente de una operación a otra, de conformidad con una secuencia fija. Cuando la diversidad es poca y el proceso está estandarizado, los flujos en línea son una consecuencia natural. Con los flujos en línea, el trabajo pasa invariablemente de una estación de trabajo a otra en la misma secuencia para todos los clientes o trabajos.

flujo flexible

Los clientes, materiales o información se mueven en varias direcciones, y la ruta de un cliente o trabajo a menudo se entrecruza con la ruta que tomará el siguiente.

flujo en línea

Los clientes, materiales o información avanzan linealmente de una operación a otra, de conformidad con una secuencia fija.

Un proceso puede analizarse con respecto a su complejidad, divergencia y flujo de trabajo. Por ejemplo, el servicio de un médico es complejo. También puede ser divergente, ya que define los pasos ejecutados con base en la información recabada durante el diagnóstico y luego adopta una o más medidas. Es posible que remita al paciente a distintas áreas de estudios clínicos que varían dependiendo de cada uno, creando flujos flexibles en lugar de flujos lineales. Algunos servicios tienen poca complejidad, pero mucha divergencia. Por ejemplo, un maestro simplemente transmite conocimientos, pero los métodos didácticos que utiliza pueden ser altamente individualizados y variar con cada tema cubierto.

ESTRUCTURACIÓN DE LOS PROCESOS DE SERVICIO

La figura 4.3 muestra varias posiciones deseables en la matriz que conectan efectivamente el servicio con el proceso. El gerente puede elegir entre tres estructuras de proceso, que forman un continuo: (1) *mostrador;* (2) *oficina híbrida,* y (3) *trastienda.* La figura 4.4 ilustra la posición de cada tipo de proceso de servicio con un ejemplo de la industria de servicios financieros. No es probable que el proceso sea muy eficaz si se ubica demasiado lejos de una de estas posiciones diagonales y ocupa en cambio una de las posiciones extremas, representadas por los triángulos gris claro de los extremos, en la matriz (figura 4.3). Dichas posiciones representan una desconexión muy considerable entre el paquete de servicios y las características del proceso. Una posición mucho más prometedora se sitúa en algún punto dentro del área o franja central, que se extiende desde la posición de mostrador hasta la posición de trastienda. Se espera cierta desviación de la diagonal, la cual es incluso deseable, porque permite nichos especiales. Sin embargo, deben evitarse las posiciones extremas.

Mostrador Un proceso de **mostrador** es aquel que tiene alto contacto con el cliente y en el que el proveedor del servicio interactúa directamente con el cliente interno o externo. Debido a la personalización del servicio y la variedad de las opciones de servicio, el proceso es más complejo y muchos de los pasos que comprende tienen divergencias considerables. Los flujos de trabajo son flexibles y varían de un cliente a otro. Se tiene más libertad, o ésta es inherente a los pasos y secuencia del proceso. El trabajo supone muchas excepciones de la pauta habitual.

mostrador

Proceso que tiene alto contacto con el cliente y en el que el proveedor del servicio interactúa directamente con el cliente interno o externo.

No sólo el proceso incluye más pasos, sino que a los empleados les resultan más difíciles de comprender. Hay más variedad de servicios y éstos son más personalizados. El proceso de servicio de alto contacto tiende a adaptarse o ajustarse a cada cliente. El cliente tiene más poder de decisión en cuanto a cómo se lleva a cabo cada paso del proceso de servicio y a veces influye incluso en el sitio donde ocurrirá el encuentro de servicio. Un ejemplo de un proceso de mostrador, como se ilustra en la primera columna de la figura 4.4, es el proceso de la venta de servicios financieros a las municipalidades. Este proceso es altamente personalizado para satisfacer las necesidades específicas del cliente; además, el contacto con el cliente, la complejidad y la divergencia también son bastante altos. El flujo del proceso es flexible, dependiendo de los requisitos del cliente.

Oficina híbrida Una oficina híbrida tiende a situarse en medio de las cinco dimensiones de la figura 4.2, o quizá en un nivel alto en algunas mediciones de contacto y bajo en otras. Un proceso de **oficina híbrida** es aquel que tiene niveles moderados de contacto con el cliente y servicios estándar que ofrecen algunas opciones, entre las cuales puede elegir el cliente. El flujo de trabajo avanza de una estación de trabajo a otra, y son evidentes algunas rutas dominantes. El trabajo es razonablemente complejo y existe cierta personalización en cuanto a cómo se ejecuta el proceso.

oficina híbrida

Proceso que tiene niveles moderados de contacto con el cliente y servicios estándar que ofrecen algunas opciones.

Mostrador	Oficina híbrida	Trastienda
Venta de servicios financieros a las municipalidades	*Creación de informes trimestrales de desempeño*	*Producción de informes mensuales del saldo de los fondos del cliente*
• Investigar las finanzas del cliente. • Trabajar con el cliente para entender sus necesidades. • Hacer una presentación personalizada en la que se aborden las necesidades específicas del cliente. • Conseguir la participación de personal especializado que ofrezca una variedad de servicios. • Relación continua con el cliente, reacción ante las necesidades cambiantes de éste.	• Obtener datos por medios electrónicos. • Calcular el informe usando procesos estandarizados. • Revisar el informe usando sistemas de diagnóstico estandarizado. • El gerente proporciona por escrito el análisis y las recomendaciones en respuesta al desempeño de cada empleado. • El gerente se reúne con el empleado para hablar sobre el desempeño.	• Obtener datos por medios electrónicos. • Elaborar el informe usando el proceso estandarizado. • Comprobar la "conformidad a la razón" de los resultados usando políticas bien establecidas. • Enviar copias impresas y archivos electrónicos a los analistas. • Repetir el proceso cada mes con poca variación.

FIGURA 4.4

Estructuras de los procesos de servicio en la industria de servicios financieros

Un ejemplo de oficina híbrida, como se ilustra en la segunda columna de la figura 4.4, es el proceso de evaluar el desempeño de los empleados cada trimestre. Esta parte del proceso no es especialmente compleja, ya que los informes están más o menos estandarizados y el proceso se repite periódicamente de acuerdo con un proceso bien establecido. Algunas partes del análisis de desempeño están incluso computarizadas. Por otra parte, esta parte del proceso agrega información proveniente de una variedad de fuentes, tanto cuantitativas como cualitativas, y por lo tanto, es más compleja que el proceso de trastienda que se explicará a continuación. Además, los análisis por escrito del gerente y las reuniones que sostiene con los empleados son altamente personalizados y se ajustan al indivuduo.

Trastienda Un proceso de **trastienda** tiene bajo contacto con el cliente y poca personalización del servicio. El trabajo es estandarizado y rutinario, con flujos lineales de un proveedor de servicio al siguiente hasta que el servicio se completa. Un ejemplo de proceso de trastienda, como se ilustra en la tercera columna de la figura 4.4, es la producción mensual de informes mensuales del saldo de los fondos de los clientes. El proceso es estandarizado casi por completo, se repite con frecuencia y requiere poca variación. Cuando se terminan, y se verifica su conformidad a la razón, los informes se envían a los analistas. El contacto con el cliente es bastante limitado, como lo son la complejidad y la divergencia del proceso. El proceso tiene un flujo lineal.

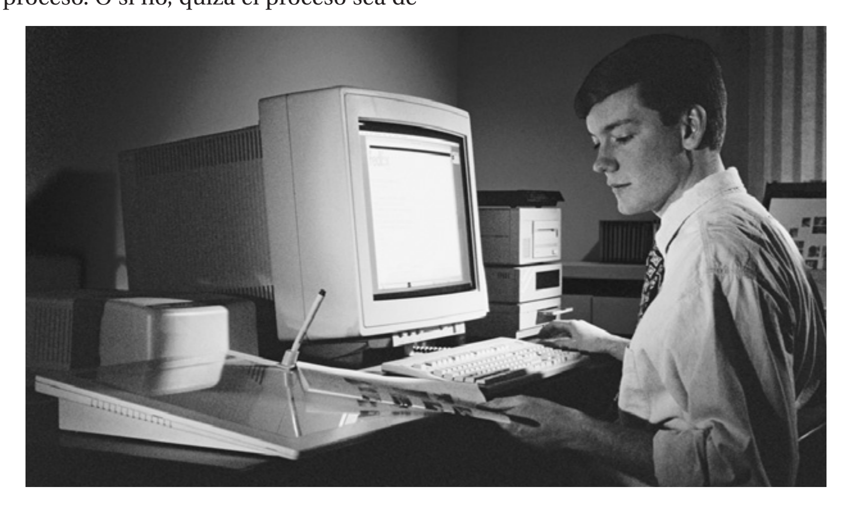
trastienda

Proceso con bajo contacto con el cliente y poca personalización del servicio.

INCORPORACIÓN DE LA ESTRATEGIA EN LOS PROCESOS DE SERVICIO

Después de analizar un proceso y determinar su posición en la matriz, tal vez se ponga de manifiesto que el proceso ocupa una posición equivocada, ya sea demasiado hacia el extremo izquierdo o al derecho, o demasiado hacia el extremo superior o al inferior. Las oportunidades de mejoramiento se hacen patentes. Tal vez el paquete de servicios necesita más personalización y contacto con el cliente de lo que ofrece actualmente el proceso. O si no, quizá el proceso sea demasiado complejo y divergente, con flujos innecesariamente flexibles. Reducir la divergencia y complejidad puede reducir también los costos y mejorar la productividad.

El proceso debe reflejar las prioridades competitivas deseadas. En general, los procesos de mostrador ponen énfasis en la calidad superior y la personalización, mientras que es más probable que los de trastienda destaquen la operación a bajo costo, la calidad consistente y la entrega a tiempo. Sin embargo, existen muchas excepciones en este patrón. La Práctica administrativa 4.1 demuestra que incluso los procesos de trastienda (y no sólo los de mostrador) en The Ritz-Carlton ponen énfasis extraordinario en la calidad superior. Sin embargo, los procesos en el mismo centro de servicio pueden tener diferentes prioridades competitivas. Los procesos para los clientes que comen en



Un empleado usa una computadora en un proceso de trastienda. El trabajo que se realiza es estandarizado y se repite con frecuencia, sin contacto directo con el cliente.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 4.1 PROCESOS EN EL MOSTRADOR Y LA TRASTIENDA DE THE RITZ-CARLTON

The Ritz-Carlton Hotel Company capta entre 1 y 3 por ciento de los viajeros de lujo y, por ello, pone un enorme énfasis en la calidad superior como prioridad competitiva. La meta no sólo es superar las expectativas de los clientes, sino también las de su propio personal. Cada empleado, ya sea en el mostrador o en la trastienda, lleva una tarjeta con ocho páneles del tamaño de una tarjeta de presentación, en los que están impresas las Normas de Oro de The Ritz-Carlton, que incluyen un lema elegante y sencillo: "Somos damas y caballeros que atienden a damas y caballeros". La compañía recalca la pasión por que su gente y procesos se comporten de manera extraordinaria, tanto con los huéspedes (clientes externos) como entre los empleados (a menudo clientes internos). Prestan una atención extraordinaria en cada oportunidad (o "punto de contacto con el cliente") de deleitar a los clientes o desilusionarlos. Con base en un cálculo, el huésped típico representa 1,100 puntos de contacto cada día. No todos ellos implican la presencia física del cliente y de algún empleado. Muchos de esos puntos ocurren en la trastienda, como la cocina, oficinas y garaje, y afectan al huésped a la larga, ya sea de manera positiva o negativa.

El énfasis en la calidad superior se codifica e integra los procesos en cada punto de contacto. The Ritz-Carlton maneja los detalles como pocas otras organizaciones. La empresa está fuertemente orientada hacia los procesos y cuenta con sistemas avanzados que miden prácticamente todos los aspectos del desempeño. Tiene una determinación casi obsesiva de impulsar mejoras de la calidad en todas sus operaciones. Comienza por contratar a la gente adecuada para los 120 puestos específicos del hotel. Los empleados actuales participan en el proceso de selección de los solicitantes de empleo, por lo que todos se sienten responsables..

Después de encontrar a la persona correcta, los empleados pasan por un curso exhaustivo de orientación y educación continua. La certificación del puesto es específica de las tareas, dependiendo de los procesos que realizará una persona. Todos los altos ejecutivos del hotel asisten a las sesiones de orientación de los empleados de nuevo ingreso, tratando de infundirles una genuina mentalidad de servicio. Los nuevos empleados toman 310 horas de capacitación en el primer año, y un mínimo de 125 horas en los años subsiguientes. También se espera que todos asistan a un "encuentro diario". En estos encuentros se hacen anuncios típicos de nuevas políticas, anuncios de las fechas de aniversarios o cumpleaños de los empleados, se entregan reconocimientos, etcétera. Lo más interesante son las anécdotas sobre el comportamiento excepcional con los huéspedes. En cada encuentro diario, se invita a los empleados a compartir relatos de atención excepcional a los clientes. Los grandes relatos se recuerdan y repiten, para comunicar no sólo lo que es posible, sino lo que se espera.



The Ritz-Carlton Millenia en Singapur. Los complejos procesos de The Ritz-Carlton le permiten atender los detalles como muy pocos hoteles. Se alienta a los empleados no sólo a tratar a los huéspedes con gentileza, sino también a hacerlo entre sí.

Cuando alguno de los empleados se topa con una situación en que las necesidades de los huéspedes no se están satisfaciendo, se espera que éste se haga cargo del problema y le dé seguimiento hasta su resolución. Cuentan con autorización para gastar hasta $2,000 por huésped para resolver quejas o problemas. Los clientes que tienen alguna queja no son remitidos con "la persona que puede ayudarlos". Parte del trabajo de todos es asumir responsabilidad por arreglar los problemas. Las amas de llaves (en la trastienda) que descubren una lámpara rota o descompuesta registran el defecto en una terminal de computadora para que se arregle antes de que los clientes la noten siquiera. Los empleados, y los procesos que se realizan tanto en el mostrador como en la trastienda, tratan de "animar los sentidos, infundir bienestar y realizar hasta los deseos que los huéspedes no expresan".

Fuentes: Terry R. Bacon and David G. Pugh, "Ritz-Carlton and EMC: The Gold Standards in Operational Behavioral Differentiation," *Journal of Organizational Excellence* primavera de 2004, pp. 61–76; www.ritzcarlton.com.

los restaurantes de McDonald's tienen que ser más personales que los que se siguen con los clientes que reciben atención en el automóvil. Tiene que haber una persona de carne y hueso detrás del mostrador. En contraste, es probable que a los clientes que no se bajan del automóvil les interese menos recibir atención personal, porque lo que quieren es mucha mayor rapidez en la entrega de su pedido y una transacción eficiente.

ESTRUCTURA DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

Muchos procesos en una empresa manufacturera son, en realidad, servicios para clientes internos o externos, por lo que la exposición anterior también aplica para ellos. En esta sección, la atención se centrará, en cambio, en los procesos de manufactura propiamente dichos. Debido a las diferencias entre los procesos de servicio y los manufactureros, se necesita un punto de vista diferente respecto a la estructura de los procesos.

MATRIZ DE PRODUCTOS Y PROCESOS

La matriz de productos y procesos, que se muestra en la figura 4.5, reúne tres elementos: (1) volumen; (2) diseño del producto, y (3) proceso. Sincroniza el producto que se fabricará con el propio proceso de manufactura.

Una buena estrategia para un proceso de manufactura depende sobre todo del volumen. El contacto con el cliente, una de las características principales de la matriz de contacto con el cliente para los servicios, normalmente no es algo que se tome en consideración en los procesos de manufactura (aunque *es* un factor en los numerosos procesos de servicio que existen en las empresas manufactureras). Para muchos procesos de manufactura, un alto nivel de personalización del producto implica volúmenes inferiores en muchos de los pasos del proceso. Si la personalización, calidad superior y variedad de productos se enfatizan de manera preponderante, el resultado probable es un menor volumen en cualquier paso determinado del proceso de manufactura.

La dimensión vertical de la matriz de productos y procesos se relaciona con las mismas tres características de la matriz de contacto con el cliente: complejidad, divergencia y flujo. Cada proceso de manufactura debe analizarse con base en estas tres dimensiones, como ocurre con un proceso de servicio.

ESTRUCTURACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

La figura 4.5 muestra varias posiciones deseables (a menudo llamadas *opciones de proceso*) en la matriz de productos y procesos que conectan efectivamente el producto manufacturado con el proceso. La **opción de proceso** es la manera de estructurar el proceso mediante la organización de los recursos en torno al proceso o en torno a los productos. La organización en torno al proceso significa, por ejemplo, que todas las fresadoras se agrupan en un lugar y procesan todos los productos o partes que necesitan ese tipo de transformación. Organización en torno del producto significa reunir los diferentes recursos humanos y equipo necesarios para un producto específico y dedicarlos a producir exclusivamente ese producto. El gerente dispone de cuatro opciones de

opción de proceso
Es la manera de estructurar el proceso mediante la organización de los recursos en torno al proceso o en torno a los productos.

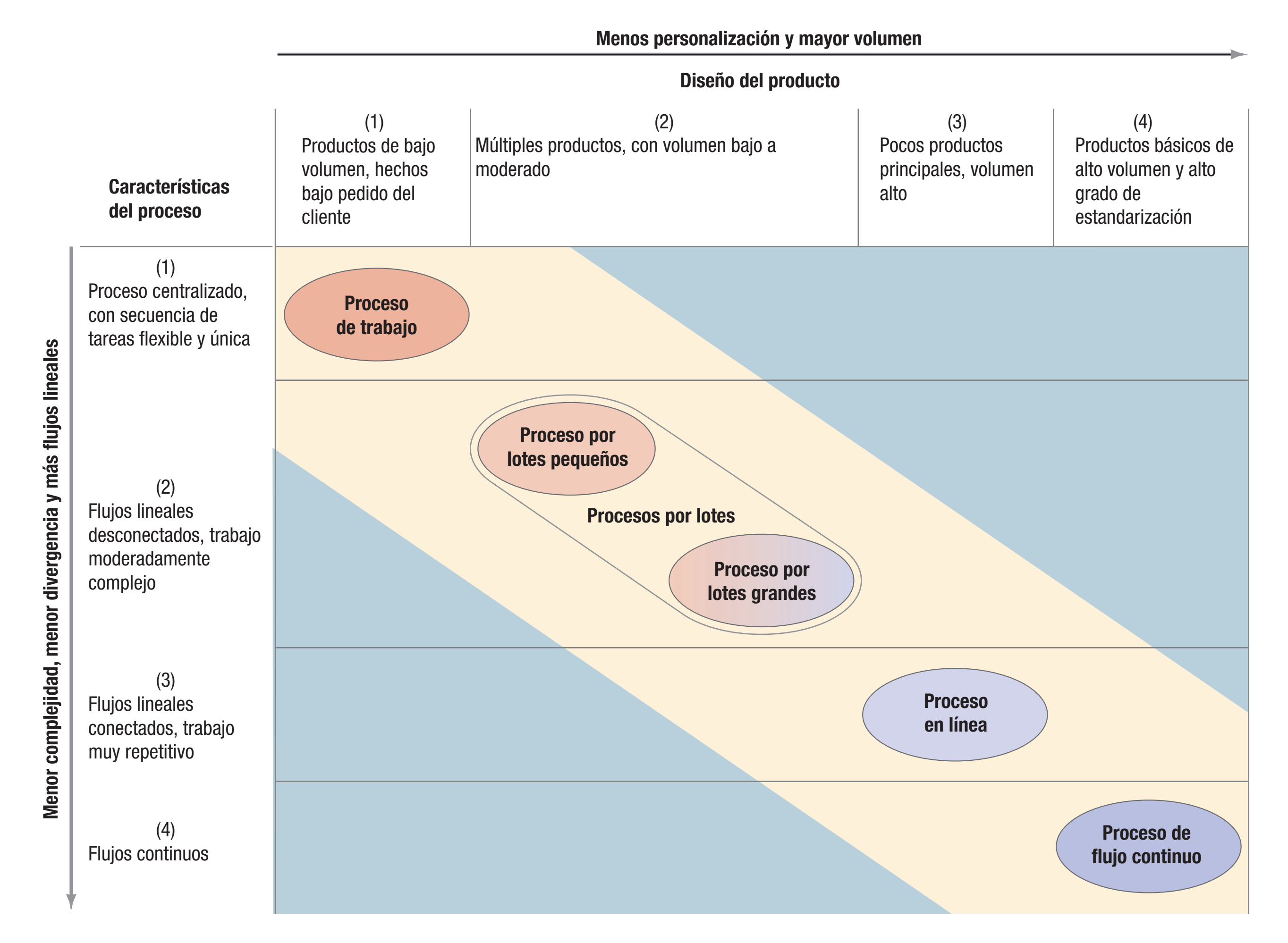


FIGURA 4.5 | Matriz de productos y procesos para los procesos de manufactura

proceso, que forman un continuo, entre las cuales puede elegir: (1) *proceso de trabajo;* (2) *proceso por lotes;* (3) *proceso en línea,* y (4) *proceso continuo.* Como ocurre con la matriz de contacto con el cliente, no es probable que un proceso de manufactura se desarrolle bien si su posición se ubica demasiado lejos de la franja diagonal. El mensaje fundamental de la figura 4.5 es que la mejor opción para un proceso de manufactura depende del volumen y grado de personalización requeridos en el proceso. La opción de proceso puede aplicar a todo el proceso de manufactura o sólo a un subproceso anidado dentro de él. Por ejemplo, un paso del proceso podría ser un proceso de trabajo donde una parte específica se trabaja con una máquina (junto con partes para muchos productos diferentes), mientras que otro paso podría ser un proceso en línea donde la parte se ensambla con otras partes y materiales para crear el producto final. Ahora nos concentraremos en las diferencias entre las cuatro opciones de procesos de manufactura.

proceso de trabajo
Es un proceso con la flexibilidad necesaria para producir una amplia variedad de productos en cantidades significativas, con complejidad y divergencia considerables en los pasos ejecutados.

Procesos de trabajo Son ejemplos: el trabajo a máquina de un vaciado de metal para atender un pedido personalizado o la producción de gabinetes personalizados. Un **proceso de trabajo** crea la flexibilidad necesaria para producir una amplia variedad de productos en cantidades significativas, con complejidad y divergencia considerables en los pasos ejecutados. El grado de personalización es alto y el volumen de cualquier producto en particular es bajo. Los trabajadores y el equipo son flexibles para manejar una divergencia considerable en las tareas. Las compañías que eligen este tipo de procesos a menudo concursan en licitaciones para obtener el trabajo. Típicamente, fabrican productos bajo pedido y no los producen con anticipación. Se desconocen las necesidades específicas del siguiente cliente y la frecuencia de los pedidos repetidos del mismo cliente es imprevisible. Cada nuevo pedido se maneja como una sola unidad, como un trabajo.

Un proceso de trabajo organiza principalmente todos los recursos semejantes en torno al proceso (en lugar de asignarlos a productos específicos); el equipo y los trabajadores capaces de realizar ciertos tipos de trabajo se ubican juntos. Estos recursos procesan todos los pedidos que requieren ese tipo de trabajo. Debido a que el grado de personalización es alto y la mayoría de los trabajos tienen una secuencia de pasos diferente, esta opción de proceso crea flujos flexibles en las operaciones en lugar de un flujo en línea. A pesar de que existe variabilidad considerable en los flujos de un proceso de trabajo, también puede haber algunos flujos lineales dentro de éste, debido a los procesos anidados idénticos y los pedidos repetitivos de los clientes.

proceso por lotes
Proceso que se distingue de un proceso de trabajo por sus características de volumen, variedad y cantidad.

Proceso por lotes El proceso por lotes es, con mucho, la opción de proceso más común que se encuentra en la práctica, lo que da pie al uso de término como *lotes pequeños* o *lotes grandes* para distinguir aún más una opción de proceso de otra. Algunos ejemplos de procesos por lotes son la elaboración de componentes estándar para alimentar una línea de ensamblaje o algunos procesos para fabricar equipo de capital. Un **proceso por lotes** se distingue de un proceso de trabajo por sus características de volumen, variedad y cantidad. La diferencia principal es que los volúmenes son más altos porque los mismos productos o partes que los forman, u otros similares, se producen repetidamente. Algunos de los componentes que se usan en la fabricación del producto final pueden procesarse con anticipación. Otra diferencia es que se provee una gama más estrecha de productos. La tercera diferencia es que las partidas de producción se manejan en cantidades (o *lotes)* mayores que en los procesos de trabajo. Se procesa un lote de un producto (o una parte que lo compone o quizá se usa en otros productos), y en seguida la producción se ajusta al siguiente lote. A la larga, el primer producto se vuelve a producir. Un proceso por lotes tiene volúmenes promedio o moderados, pero la divergencia del proceso es aún demasiado grande como para justificar el hecho de dedicar un proceso distinto a cada producto. El flujo del proceso es flexible, sin que exista una secuencia estándar de pasos a través de toda la instalación. Sin embargo, se perfilan rutas más dominantes que en un proceso de trabajo, y algunos segmentos de los procesos tienen flujo en línea.

proceso en línea
Proceso que se sitúa en el continuo entre el proceso por lotes y el proceso de flujo continuo; los volúmenes son altos y los productos están estandarizados, lo que permite organizar los recursos en torno a productos particulares.

Proceso en línea Entre los productos creados por un proceso en línea figuran el ensamblaje de computadores, automóviles, aparatos electrodomésticos y juguetes. Un **proceso en línea** se sitúa en el continuo entre el proceso por lotes y el proceso de flujo continuo; los volúmenes son altos y los productos están estandarizados, lo que permite organizar los recursos en torno a productos particulares. La divergencia es mínima en el proceso o los flujos lineales, y se mantiene poco inventario entre los pasos de procesamiento. Cada paso realiza el mismo proceso una y otra vez, con escasa variabilidad en los productos manufacturados. El equipo que maneja la producción y los materiales es especializado.

Los pedidos de producción no están directamente relacionados con los pedidos de los clientes, como ocurre en los procesos de trabajo. Se producen productos estándar adelantándose a las necesidades y éstos se mantienen en inventario para que estén listos en el momento en que un cliente haga un pedido. La variedad de productos es posible gracias al cuidadoso control de la adición de opciones estándar al producto principal.

proceso de flujo continuo
Representa el extremo de la producción estandarizada de alto volumen y flujos en línea rígidos, en el que la producción no se inicia ni se detiene durante periodos largos.

Proceso de flujo continuo Algunos ejemplos de un proceso de flujo continuo son la refinación de petróleo, los procesos químicos y los procesos en los que produce acero, bebidas gaseosas y comida (como la enorme planta productora de pasta de Borden). Un **proceso de flujo continuo** representa el extremo de la producción estandarizada de alto volumen y flujos en línea rígidos. La

divergencia del proceso es insignificante. Su nombre proviene de la forma como los materiales se mueven a través del proceso. Generalmente, un material primario (como un líquido, un gas o un polvo) se mueve sin cesar a través del proceso. Éste se asemeja más a una entidad independiente. Con frecuencia, el proceso es intensivo en capital y funciona las 24 horas del día para maximizar la utilización y para evitar los costosos paros y subsiguientes puestas en marcha. Un proceso de flujo continuo difiere de un proceso en línea en un aspecto importante: los materiales (sean indiferenciados o discretos) fluyen a través del proceso sin detenerse hasta que se termina todo el lote. Su duración puede abarcar varios turnos o incluso varios meses. Los procesos en línea, por otro lado, pueden iniciarse y detenerse en cada turno o día, incluso si el lote no está terminado.

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN E INVENTARIO

Las estrategias para los procesos de manufactura difieren de las que se formulan para los servicios no sólo por el poco contacto y participación del cliente, sino también por la habilidad para usar inventarios. Las estrategias de fabricación por pedido, de ensamble por pedido y de fabricación para mantener en inventario son tres formas de inventarios que deben coordinarse con la opción de proceso elegida.

Estrategia de fabricación por pedido Los fabricantes que elaboran productos en bajos volúmenes, de acuerdo con las especificaciones del cliente, tienden a aplicar la **estrategia de fabricación por pedido,** aunada con procesos de trabajo o por lotes pequeños. Se trata de un proceso más complejo que ensamblar un producto final a partir de componentes estándar, como armar una computadora Dell por pedido del cliente. Se pueden utilizar muchos tipos diferentes de procesos de manufactura, aparte de "ensamblar o unir partes y materiales" primordialmente. Con una estrategia de fabricación por pedido el proceso se ve como un conjunto de subprocesos que pueden usarse de muchas maneras diferentes para satisfacer las necesidades peculiares de los clientes. Esta estrategia permite un alto grado de personalización y típicamente usa procesos de trabajo o por lotes pequeños. Los procesos son complejos, con alta divergencia. Debido a que la mayoría de los productos, componentes y unidades ensambladas se fabrica a la medida de las necesidades, el proceso de manufactura tiene que ser flexible para dar cabida a toda la variedad. Entre los ejemplos adecuados para la estrategia de fabricación por pedido figuran: equipo médico especializado, piezas de fundición y viviendas costosas. Otra posibilidad es la estrategia de ensamble por pedido.

estrategia de fabricación por pedido
Estrategia utilizada por los fabricantes con la cual elaboran los productos en bajos volúmenes, de acuerdo con las especificaciones del cliente.

Estrategia de ensamble por pedido La **estrategia de ensamble por pedido** es un método para producir una amplia variedad de productos a partir de relativamente pocas unidades ensambladas y componentes, después de haber recibido los pedidos de los clientes. Las prioridades competitivas típicas son la variedad y tiempos de entrega rápidos. La estrategia de ensamble por pedido a menudo comprende un proceso en línea para el ensamblaje y un proceso por lotes para la fabricación. Debido a que se dedican a fabricar componentes estandarizados y unidades ensambladas en altos volúmenes, los procesos de fabricación se centran en crear las cantidades adecuadas de inventarios para los procesos de ensamblaje. Una vez que se recibe el pedido específico del cliente, los procesos de ensamblaje crean el producto a partir de los componentes estandarizados y subensamblajes producidos por los procesos de fabricación.

estrategia de ensamble por pedido
Estrategia que se usa para producir una amplia variedad de productos a partir de relativamente pocas unidades ensambladas y componentes, después de haber recibido los pedidos de los clientes.

Tener un inventario de productos terminados sería prohibitivo en el sentido económico, porque las numerosas opciones posibles hacen que los pronósticos sean relativamente inexactos. Por lo tanto, se aplica el principio de *posposición*. Por ejemplo, un fabricante de muebles tapizados de alta calidad puede producir cientos de unidades de un estilo particular de sofá, sin que llegue a haber dos sofás iguales, para satisfacer las preferencias de los clientes en materias de telas y madera. Otros ejemplos son la venta de pinturas (en la tienda es posible producir casi cualquier color mezclando pigmentos estándar) y las casas prefabricadas para las cuales el cliente elige entre varias opciones de colores y acabados.

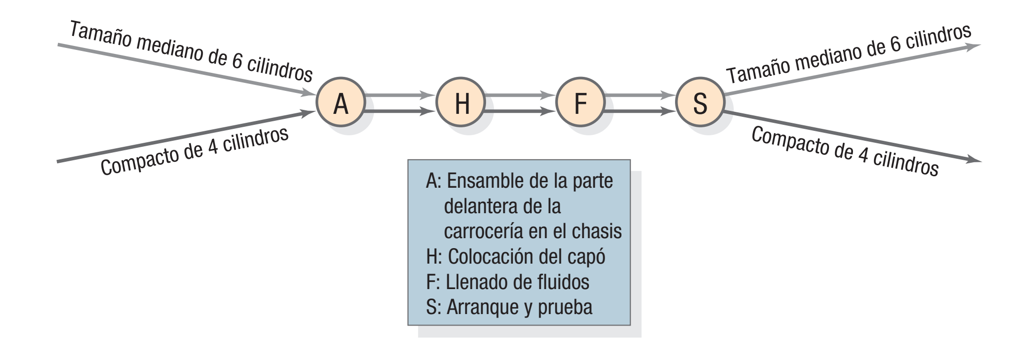
Estrategia de fabricación para mantener en inventario Las empresas manufactureras que mantienen artículos en inventario para entrega inmediata, minimizando así el tiempo de entrega al cliente, aplican la **estrategia de fabricación para mantener en inventario**. Esta estrategia es factible para productos estandarizados con altos volúmenes y pronósticos razonablemente precisos. Se trata de la estrategia elegida de inventario para procesos en línea o de flujo continuo. Por ejemplo, en la figura 4.6, que representa un proceso de ensamblaje final de automóviles, tanto el modelo de tamaño mediano de 6 cilindros como el compacto de 4 cilindros se arman en la misma línea. Los volúmenes son suficientes para justificar una estrategia de fabricación para mantener en inventario. El flujo del proceso para los dos productos es directo y sencillo, con cuatro procesos anidados dedicados a los dos productos.

estrategia de fabricación para mantener en inventario
Estrategia que implica mantener artículos en inventario para entrega inmediata, minimizando así el tiempo de entrega al cliente.

Esta estrategia también es aplicable en situaciones en las que la empresa fabrica un producto único para un cliente específico, siempre que los volúmenes sean suficientemente altos. Por ejemplo, una compañía que produce un sensor para la transmisión del Ford Explorer tendría suficiente volumen para destinar toda una línea de producción específicamente para ese sensor y mantener un inventario del producto terminado para enviar puntualmente a la fábrica los embar-

FIGURA 4.6

Proceso de ensamblaje de automóviles.



ques programados. Otros ejemplos de productos que se fabrican de acuerdo con la estrategia de fabricación para mantener en inventario son: herramientas de jardinería, componentes electrónicos, bebidas gaseosas y productos químicos.

producción en masa

Término que se utiliza algunas veces en la prensa popular para designar un proceso en línea en el que se aplica una estrategia de fabricación para mantener en inventario.

A la combinación de un proceso en línea con la estrategia de fabricación para mantener en inventario algunas veces se le llama **producción en masa**. Es lo que la prensa popular comúnmente imagina como el proceso manufacturero clásico, debido a que el entorno es estable y predecible y los trabajadores repiten tareas que han sido estrictamente definidas con poca divergencia. Sin embargo, un proceso en línea es sólo uno de cuatro opciones de proceso.

INCORPORACIÓN DE LA ESTRATEGIA EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

Tal como un proceso de servicio puede reposicionarse en la matriz de contacto con el cliente, un proceso de manufactura puede moverse en la matriz de productos y procesos. Es posible realizar cambios ya sea en dirección horizontal en la figura 4.5 para modificar el grado de personalización y volumen, o bien, en dirección vertical para modificar la complejidad o divergencia del proceso. Los flujos de los procesos pueden ser más lineales si se dedican recursos humanos y de capital a un producto específico o quizá a un grupo de productos parecidos. Así, la secuencia de tareas se vuelve la misma. Hay poca divergencia presente porque, en esencia, se fabrica el mismo producto en forma repetida sin desviaciones. La estrategia de producción e inventario también puede cambiarse.

Es necesario considerar las prioridades competitivas cuando la estrategia se traduce en procesos de manufactura específicos. La figura 4.7 muestra algunas tendencias comunes que se encuentran en la práctica. Los procesos de trabajo y por lotes pequeños son las opciones habituales si se pone énfasis principalmente en la calidad superior, entrega a tiempo y flexibilidad (personalización, variedad y flexibilidad de volumen). Los procesos por lotes grandes, en línea y de flujo continuo coinciden con el énfasis en las operaciones de bajo costo, calidad consistente y velocidad de entrega.

FIGURA 4.7

Vínculos entre las prioridades competitivas y la estrategia de manufactura



Para las estrategias de producción e inventario, la estrategia de fabricación por pedido concuerda con la flexibilidad (en particular, con la personalización) y la calidad superior. Debido a que la velocidad de entrega es más difícil, se hace énfasis en cumplir con los plazos establecidos y la entrega a tiempo en la dimensión temporal. La estrategia de ensamble por pedido permite lograr la velocidad de entrega y flexibilidad (en particular, la variedad), mientras que la estrategia de fabricación para mantener en inventario es la opción habitual si se pone énfasis en la velocidad de entrega y las operaciones de bajo costo. Al mantener un artículo en inventario se asegura la entrega rápida porque generalmente está disponible cuando se necesita, sin las demoras para producirlo. Los volúmenes altos abren las posibilidades para reducir los costos.

Después de cubrir las diversas dimensiones de las decisiones sobre la estructura de los procesos, ahora nos ocuparemos de una segunda decisión importante, la participación del cliente, mostrada en la figura 4.1.

> PARTICIPACIÓN DEL CLIENTE <

La participación del cliente refleja la manera en que los clientes toman parte en el proceso y el grado en que participa. Es especialmente importante para muchos procesos de servicio, en particular si el contacto con el cliente es (o debería ser) alto.

Un buen punto de partida para aumentar la participación del cliente es hacer que el proceso se vuelva más visible para el éste. Permitir que los clientes vean lo que normalmente permanece oculto a su vista forma parte del diseño del servicio de Harvey's, una cadena canadiense de restaurantes de comida rápida. Ahí se puede ver a los trabajadores en un lugar de trabajo sanitario y ordenado asando la carne, y uno puede elegir el tipo de ingredientes adicionales que desee. Un paso aún más audaz consiste en permitir que los clientes participen en procesos seleccionados de trastienda, para convertirlos, en efecto, en procesos de mostrados.

POSIBLES DESVENTAJAS

La participación del cliente no es siempre una buena idea. En algunos casos, ofrecer al cliente un mayor contacto activo en un proceso de servicio sólo ocasiona trastornos y vuelve menos eficiente el proceso. Lidiar con las necesidades específicas de cada cliente puede hacer que el proceso se vuelva más complejo y divergente. Administrar el tiempo y volumen de las demandas de los clientes es mucho más complicado si el cliente se encuentra físicamente presente y espera una entrega rápida. La medición de la calidad también se dificulta y exponer las instalaciones y empleados al cliente puede tener implicaciones importantes en la calidad (favorables o desfavorables). Sin la protección contra influencias externas, la productividad del proveedor de servicios puede disminuir y los costos, aumentar. Dichos cambios hacen que las habilidades para las relaciones interpersonales sean un requisito indispensable para el trabajo del proveedor del servicio, pero los niveles más altos de habilidad tienen un costo. Es posible que revisar la distribución de las instalaciones sea una inversión necesaria, ahora que la administración de las percepciones de los clientes forma parte importante del proceso.

Si la participación de los clientes requiere de presencia física, éstos pueden determinar el tiempo y el lugar en que el servicio deberá suministrarse. Si el servicio se entrega al cliente, las



Un buen punto de partida para aumentar la participación del cliente es hacer que el proceso se vuelva más visible para él.

decisiones que tienen que ver con el lugar pasan a formar parte de la estrategia del proceso. ¿Se atenderá al cliente sólo en el local del proveedor del servicio? ¿Los proveedores del servicio irán al local del cliente? ¿O el servicio se suministrará en un tercer lugar? Es posible que sea necesario contar con muchas instalaciones descentralizadas pequeñas, cercanas a las distintas zonas de concentración de los clientes, si éstos acuden a los proveedores del servicio. De lo contrario, la capacidad de servicio debe ser móvil. Cualquiera de los métodos incrementa los costos. Aunque es frecuente que los contadores públicos trabajen en las oficinas de los clientes, es probable que tanto el tiempo como el lugar se conozcan con mucha anticipación, además de que hay que considerar los gastos de viaje en los costos.

POSIBLES VENTAJAS

A pesar de estas posibles desventajas, las ventajas de un proceso más enfocado en el cliente pueden aumentar el valor neto para éste. Algunos clientes desean participar activamente en el proceso de servicio y tener control sobre éste, en particular si esto les reporta ahorros tanto en precio como en tiempo. El gerente debe evaluar si las ventajas superan a las desventajas, juzgándolas en función de las prioridades competitivas y la satisfacción del cliente. El gerente también debe estar consciente del posible uso de tecnologías emergentes para facilitar una mayor participación del cliente.

Mejores capacidades competitivas Dependiendo de la situación, una mayor participación del cliente puede significar mejor calidad, entrega más ágil, mayor flexibilidad e incluso costos menores. Los clientes se encuentran cara a cara con los proveedores del servicio y pueden hacer preguntas, presentar peticiones especiales en el acto, proporcionar información adicional e incluso ofrecer consejos. Dicho cambio crea una relación más personal con el proveedor del servicio y el cliente participa en garantizar la prioridad competitiva de calidad consistente.

Si la personalización y la variedad se valoran en gran medida, la participación del cliente puede ayudar. Algunos procesos se pueden diseñar para permitir a los clientes presentar sus propias especificaciones del servicio o producto, o incluso participar en el diseño de éste. Un buen ejemplo es la industria de las viviendas diseñadas y construidas al gusto del cliente. Éste participa activamente en el proceso de diseño e inspecciona el trabajo en proceso en diversas ocasiones. Si hay una amplia variedad de servicios o productos disponibles, los clientes seleccionan lo que más se ajusta a sus preferencias personales. En efecto, “eligen sus propios comestibles”.

Así como el contacto activo con el cliente y la atención personalizada incrementan los costos, en otros sentidos pueden reducirlos. El autoservicio es la opción de muchos comerciantes minoristas, como las gasolineras, supermercados y servicios bancarios. A menudo llamado “enfoque de la barra de ensaladas” en la productividad, sustituye los esfuerzos del proveedor del servicio por los del cliente. Los fabricantes de productos (como juguetes, bicicletas y muebles) también prefieren permitir que el cliente realice el ensamble final porque los costos del producto, envío e inventario con frecuencia son menores, como lo son también las pérdidas por daños. Los ahorros se trasladan a los clientes como precios más bajos. Por supuesto, algunos clientes prefieren desempeñar una función más pasiva, como el servicio completo en una gasolinera en un día invernal, a pesar un costo más alto.

Tecnologías emergentes En un mercado donde los clientes conocen de tecnología y la usan, las compañías pueden entablar ahora un diálogo activo con los clientes y convertirlos en socios para la creación de valor. Los clientes son una nueva fuente de competencia en dichos procesos. Para aprovechar las competencias de los clientes, las compañías tienen que mantener un diálogo continuo con ellos. También deben revisar algunos de sus procesos tradicionales, como los sistemas de precios y facturación, para tener en cuenta el nuevo papel que desempeñan sus clientes. Por ejemplo, en las relaciones de empresa a empresa, Internet cambia las funciones que las compañías desempeñan con otras empresas. Los proveedores de Ford son ahora colaboradores cercanos en el proceso de desarrollar nuevos vehículos y ya no son proveedores pasivos de materiales y servicios. Lo mismo aplica a los distribuidores. Wal-Mart hace algo más que distribuir los productos de Procter & Gamble: comparte la información diaria sobre las ventas y trabaja con Procter & Gamble en la administración de inventarios y las operaciones de almacenamiento.

> FLEXIBILIDAD DE LOS RECURSOS <

Así como los gerentes deben tener en cuenta el contacto con el cliente cuando toman decisiones sobre la participación de éstos, igualmente deben tomar en consideración la divergencia de los procesos y los diferentes flujos de éstos cuando toman decisiones sobre la flexibilidad de los recursos en la figura 4.1. Un alto grado de divergencia en las tareas y flujos flexibles del proceso requieren mayor flexibilidad de los recursos de éste: empleados, instalaciones y equipo. Los em-

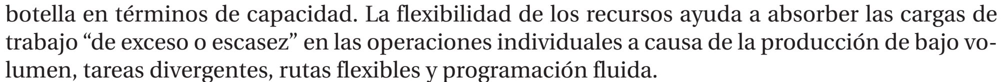
pleados necesitan realizar una amplia gama de labores y el equipo debe ser de propósito general. De lo contrario, la utilización de los recursos será demasiado baja para que las operaciones puedan considerarse económicas.



Los técnicos del departamento de reparación de partes de este centro de servicio de ABB, líder global en tecnologías de energía y automatización, deben ser suficientemente flexibles para reparar numerosas partes del equipo de automatización instalado en los locales de los clientes en el campo. Este centro de servicio cuenta con 30 estaciones de trabajo configuradas para realizar diferentes tipos de procesos. Los trabajadores reciben capacitación en las distintas tareas para poder desplazarse de una estación a otra, dependiendo de lo que necesiten hacer.

MANO DE OBRA

Los gerentes de operaciones deben decidir si habrán de tener una **mano de obra flexible** o no. Los miembros de una mano de obra flexible son capaces de realizar múltiples tareas, ya sea en sus propios puestos de trabajo o desplazándose de un sitio a otro. Sin embargo, esa flexibilidad con frecuencia tiene un costo, pues requiere mayores habilidades y, por consiguiente, más capacitación y educación. Pese a todo, las ventajas pueden ser grandes: la flexibilidad de la mano de obra suele ser una de las mejores formas de asegurar un servicio confiable para el cliente y reducir los cuellos de botella en términos de capacidad. La flexibilidad de los recursos ayuda a absorber las cargas de trabajo “de exceso o escasez” en las operaciones individuales a causa de la producción de bajo volumen, tareas divergentes, rutas flexibles y programación fluida.



mano de obra flexible

Es la mano de obra cuyos miembros son capaces de realizar múltiples tareas, ya sea en sus propios puestos de trabajo o desplazándose de un sitio a otro.

El tipo de mano de obra requerida también depende de la necesidad de flexibilidad en el volumen. Cuando las condiciones permiten una tasa de producción continua y uniforme, la decisión más acertada es una mano de obra permanente que aspira a un empleo regular de tiempo completo. Si el proceso está sujeto a picos y depresiones de la demanda, en ciclos por hora, diarios o estacionales, la mejor solución suele ser un grupo de empleados eventuales o de tiempo parcial para complementar un núcleo más pequeño de empleados de tiempo completo. Sin embargo, este enfoque tal vez no sea práctico si los requisitos de conocimientos y habilidades son demasiado altos para que un trabajador eventual los adquiera con rapidez. Hay una creciente controversia acerca de la práctica de reemplazar a trabajadores de tiempo completo con trabajadores temporales o de tiempo parcial.

EQUIPO

Los volúmenes de producción bajos significan que los diseñadores del proceso deben seleccionar equipo flexible de propósito general. La figura 4.8 ilustra esta relación mostrando las líneas de costo total para dos tipos de equipo diferentes que pueden elegirse para un proceso. Cada línea representa el costo total anual del proceso con diferentes niveles de volumen. Es la suma de costos fijos y costos variables (véase el suplemento A, “Toma de decisiones”). Cuando los volúmenes son bajos (a causa de una personalización alta), el proceso 1 es la mejor opción. Este proceso requiere equipo de propósito general poco costoso, para mantener baja la inversión en equipo y hacer que los costos fijos (F_1) sean reducidos. Su costo unitario variable es alto, lo cual hace que la línea de costo total tenga una pendiente relativamente pronunciada. El proceso 1 cumple su cometido, pero no con la máxima eficiencia. Sin embargo, los volúmenes no son lo suficientemente altos para que los costos variables totales sobrepasen las ventajas de los costos fijos bajos.

A la inversa, el proceso 2 es la mejor elección cuando los volúmenes son altos y la personalización es baja. Su ventaja es un costo unitario variable bajo, como se refleja en la línea de costo total menos empinada. Esta eficiencia es posible cuando la personalización es baja, ya que el equipo

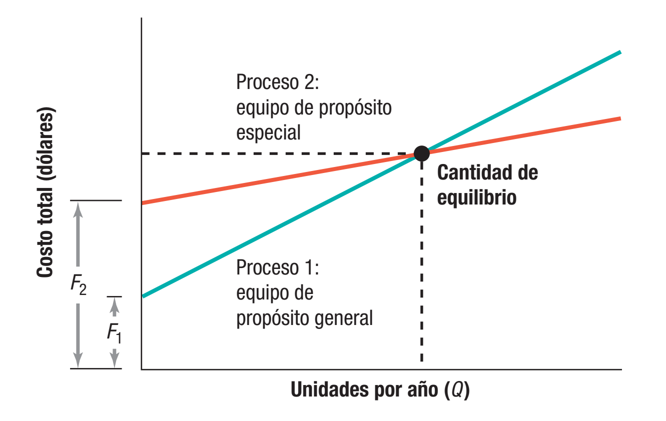


FIGURA 4.8

Relación entre los costos del proceso y el volumen de producto



TUTOR 4.1

El tutor 4.1 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) demuestra cómo realizar un análisis de punto de equilibrio para la selección de equipo.

está diseñado para una gama reducida de productos o tareas. La desventaja es que requiere una elevada inversión en equipo y, por lo tanto, tiene costos fijos altos (F_2). Cuando el volumen anual producido es suficientemente alto, al repartir estos costos fijos entre más unidades producidas, la ventaja de los costos variables bajos compensa con creces los costos fijos altos.

La cantidad de equilibrio que muestra la figura 4.8 es la cantidad en la cual los costos totales de las dos alternativas son iguales. En cantidades que están más allá de este punto, el costo del proceso 1 es mayor que el del proceso 2. A menos que la empresa espere vender un volumen mayor que la cantidad necesaria para alcanzar el punto de equilibrio, lo cual es improbable a causa de la alta personalización y el bajo volumen, la inversión de capital del proceso 2 no se justifica.

INTENSIDAD DE CAPITAL

La intensidad de capital es la mezcla de equipo y habilidades humanas que participarán en el proceso; cuanto más alto sea el costo relativo del equipo, mayor será la intensidad de capital. A medida que las capacidades tecnológicas se incrementan y sus costos decrecen, los gerentes enfrentan una gama de opciones cada vez más amplia, desde las operaciones que utilizan muy poca automatización hasta las que requieren equipo específico para las tareas por desempeñar y muy poca intervención humana. La **automatización** es un sistema, proceso o pieza de equipo que actúa y se regula por sí misma. Aun cuando con mucha frecuencia se piensa que la automatización es necesaria para obtener ventaja competitiva, lo cierto es que tiene tanto ventajas como desventajas. Por lo tanto, la decisión de adoptar la automatización tiene que ser examinada cuidadosamente.

automatización

Es un sistema, proceso o pieza de equipo que actúa y se regula por sí misma.

AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

La sustitución de la mano de obra por equipo de capital y tecnología que ahorran costos de mano de obra ha sido una de las maneras clásicas de mejorar la productividad y la uniformidad de la calidad en los procesos de manufactura. Si los costos de inversión son cuantiosos, la automatización funciona mejor cuando el volumen es alto, ya que típicamente, mayor personalización significa volumen reducido. Gillette, por ejemplo, gastó 750 millones de dólares en las líneas de producción y robótica que le dieron la capacidad de fabricar 1,200 millones de cartuchos de hojas para afeitar al año. El equipo es complicado y costoso. Sólo con volúmenes así de altos este proceso en línea puede producir el bien a un precio suficientemente bajo para que los consumidores puedan comprarlo.

Una gran desventaja de la intensidad de capital es el prohibitivo costo de inversión requerido para operaciones de bajo volumen (figura 4.8). Generalmente, las operaciones intensivas en capital deben tener un alto grado de utilización para que sean justificables. Además, la automatización no siempre es compatible con las prioridades competitivas de la compañía. Si una empresa ofrece un producto único o un servicio de alta calidad, las prioridades competitivas suelen imponer la necesidad de servidores calificados, trabajo manual y atención individual, antes que nueva tecnología. Un ejemplo de esto son los procesos corriente abajo de Gillette en los que se empacan y almacenan los cartuchos de hojas para afeitar. El empaque se personaliza para las diferentes regiones del mundo, de modo que los volúmenes de cualquier tipo de empaque son mucho menores. Como resultado de los bajos volúmenes, Gillette no emplea automatización costosa en estos procesos. De hecho, los subcontrata.

Automatización fija Los fabricantes utilizan dos tipos de automatización: la fija y la flexible (o programable). Particularmente adecuada para las opciones de procesos en línea y de flujo continuo, la **automatización fija** produce un tipo de parte o producto en una secuencia fija de operaciones simples. Hasta mediados de la década de 1980, la mayoría de las plantas de automóviles de Estados Unidos estaban dominadas por la automatización fija, y algunas aún lo están. Las plantas procesadoras de productos químicos y las refinerías de petróleo también usan este tipo de automatización.

automatización fija

Proceso de manufactura que produce un tipo de parte o producto en una secuencia fija de operaciones simples.

Los gerentes de operaciones prefieren la automatización fija cuando los volúmenes de demanda son altos, los diseños del producto son estables y los ciclos de vida del producto son largos. Estas condiciones compensan las dos desventajas principales del proceso: el alto costo de inversión inicial y la relativa inflexibilidad. Sin embargo, la automatización fija maximiza la eficiencia y produce el costo variable más bajo por unidad si los volúmenes son altos.

Automatización flexible (o **programable**) puede modificarse fácilmente para manejar diversos productos. La posibilidad de reprogramar las máquinas es útil para los procesos que tienen alto y bajo grados de personalización. En el caso de un alto grado de personalización, una máquina que fabrica cierta variedad de productos en lotes pequeños puede programarse para alternar entre productos. Cuando una máquina se ha destinado a un producto o una familia de productos en particular, como en el caso de poca personalización y un flujo lineal, y dicho producto se encuentra al final de su ciclo de vida, es posible reprogramar simplemente la máquina con una nueva secuencia de operaciones para un nuevo producto.

automatización flexible (o programable)

Proceso de manufactura que puede modificarse fácilmente para manejar diversos productos.

En la Práctica administrativa 4.2 se describe cómo R.R. Donnelley se beneficia de la automatización más flexible, la cual permite cambios rápidos del pedido de un cliente al de otro.

AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE SERVICIO

El uso de insumos de capital como instrumento para ahorrar en mano de obra también es posible en los procesos de servicio. En los servicios educativos, por ejemplo, la tecnología de aprendizaje a distancia ahora puede complementar o incluso sustituir la experiencia en el aula tradicional, por medio de libros, computadoras, sitios Web y videos como productos facilitadores que se incluyen con el servicio. La justificación del uso de la tecnología no necesita limitarse a la reducción de costos. A veces puede incrementar la complejidad y divergencia de las tareas porque pone a disposición del cliente una amplia variedad de opciones de menú. En el futuro, la tecnología seguramente

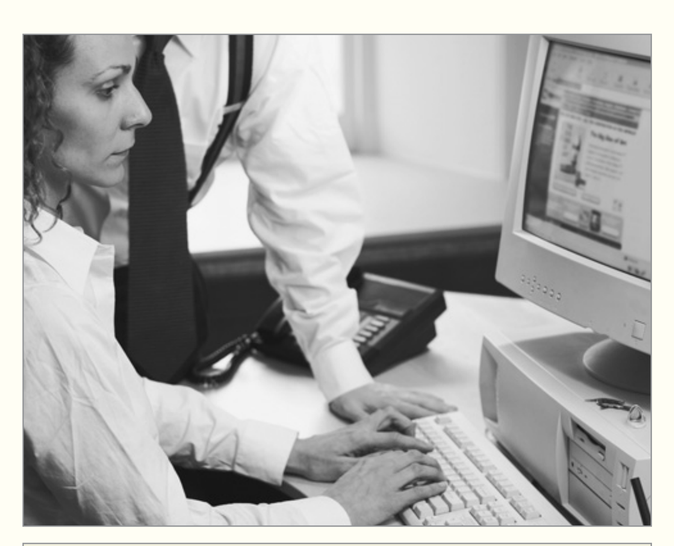
PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 4.2 AUTOMATIZACIÓN FLEXIBLE EN R.R. DONNELLEY

R.R. Donnelley es el impresor comercial más grande de Estados Unidos y el impresor de libros más importante. La industria realiza enormes inversiones de capital en sus imprentas para tratar de reducir el costo unitario variable de un libro (figura 4.8). La empresa utilizaba la estrategia de fabricación por pedido, en la que los clientes (como los editores de libros) colocaban nuevos pedidos cuando sus niveles de inventarios eran demasiado bajos. Sin embargo, el tiempo de preparación para recibir el nuevo pedido y cambiar las prensas para el pedido del siguiente cliente consumía mucho tiempo. Es muy costoso mantener inactivo ese equipo tan caro mientras se realizan los cambios. Estos costos elevados obligan a los clientes, como los editores de libros, a hacer pedidos grandes y poco frecuentes de sus libros. A menudo ordenaban 100,000 ejemplares de una nueva obra, y en ocasiones terminaban con 50,000 libros sin vender en sus almacenes. Con mucha frecuencia, las ediciones se agotaban o quedaban muchos sobrantes. Los clientes también levantaban pedidos con mucha anticipación de las fechas de entrega deseadas porque los tiempos de espera eran demasiado largos. R.R. Donnelley programaba con cuidado su calendario de producción para muchos meses futuros y el tiempo total necesario para producir lotes grandes (incluido el tiempo de preparación) era prolongado.

La automatización flexible en su planta de Roanoke, Virginia, permite a R.R. Donnelley tomar un rumbo diferente y cosechar grandes recompensas. El nuevo proceso comienza cuando el contenido de un libro llega por Internet como un archivo PDF (del inglés *portable document format*) y se envía al departamento de preprensa de la planta. Las intrincadas operaciones manuales que se requieren para preparar el texto y las imágenes para la imprenta tradicionalmente han causado los cuellos de botella más grandes. En Roanoke ahora se producen las planchas en formato digital y no a partir de película fotográfica. Con la eliminación de pasos como la duplicación y limpieza del archivo, un trabajo que en alguna época tardaba horas ahora puede realizarse en 12 minutos. El flujo de trabajo completamente digital también hace posible la creación de instrucciones electrónicas, conocidas como especificaciones predeterminadas de tintas, que mejoran la productividad y la calidad. Se crean planchas más limpias y nítidas para las prensas porque, a diferencia de la película, los tipos electrónicos no tienen que manipularse repetidamente.

Los cambios rápidos y eficientes en las imprentas, junto con los nuevos tipos de automatización, hacen posible imprimir 50 ejemplares de un libro en una sola tinta o 2,500 ejemplares de un libro a cuatro tintas. Así, el editor puede incrementar de manera gradual el tamaño del lote después de probar el mercado. El aumento en las ventas de libros por medio de Amazon.com también ha impulsado la demanda de ediciones pequeñas, y la nueva flexibilidad permite a los editores reimprimir clásicos y otras obras en cantidades manejables. En el otro extremo, Donnelley todavía puede fabricar millones de copias de un solo libro, como ocurrió cuando produjo la mayor parte de los 8 millones de ejemplares del libro más reciente de Harry Potter.

Con la automatización flexible, la planta de Roanoke produce 75% de los títulos en dos semanas o menos, en comparación con las cuatro a seis semanas que se requieren para producir un libro a cuatro tintas usando tecnología tradicional. La gerencia creó una cultura de mejoramiento continuo en la planta, sede de unos 300 trabajadores. En general, Roanoke aumentó la tasa de producción en 20% sin tener que comprar una prensa y una línea de encuadernación adicionales, lo que representa un ahorro de 15 millones de dólares. Sus prensas funcionan las 24 horas del día y producen 3.5 millones de libros al mes; la productividad aumentó 20% y el servicio mejoró. Los editores de libros ahora cuentan con un producto justo a tiempo cuando lo desean.



R.R. Donnelley ha logrado poner en práctica la automatización flexible porque recibe los libros en formato digital y los prepara electrónicamente para ir a la imprenta. Ello permite a la compañía imprimir los libros con mayor rapidez y en cantidades más pequeñas y manejables en una sola tirada.

Fuente: Gene Bylinsky, “Two of America’s Best Have Found New Life Using Digital Tech,” *Fortune,* volumen 148, número 4, 2003, pp. 54–55.

posibilitará un grado aún mayor de personalización y variedad en los servicios que en la actualidad sólo los humanos pueden proveer. Más allá de las consideraciones de costo y la variedad, el diseñador del proceso debe entender al cliente y cuánto se valora el contacto cercano. Si los clientes requieren una presencia visible y atención personal, las tecnologías que se reducen a ordenar una variedad de opciones en Internet o por teléfono podrían ser una mala elección.

La necesidad de volumen para justificar la costosa automatización es tan válida para los procesos de servicio como para los procesos de manufactura. El aumento de los volúmenes disminuye el costo por dólar de las ventas. El volumen es esencial en muchos procesos intensivos en capital en las industrias del transporte, las comunicaciones y los servicios públicos. Un jet comercial inactivo a causa de poca demanda resulta muy costoso, realidad que se refleja en los estados de resultados recientes de las compañías de aviación. Los gerentes deben evaluar cuidadosamente tanto el volumen como la inversión en dólares para decidir cuánta automatización conviene implementar. Aunque comprar equipo más grande y estandarizado puede ser tentador, tal vez no proporcione un buen ajuste estratégico.

A menudo se supone, y con razón, que los volúmenes son más altos en los procesos de trastienda, donde hay poco contacto con el cliente. El contacto físico, el trato personalizado y la comunicación cara a cara suelen crear tareas divergentes y bajo volumen, pero no siempre. Un estudio reciente de los servicios financieros muestra que los volúmenes altos son tan probables en los procesos de mostrador como en los de trastienda. Como resultado, la automatización no se concentra en la trastienda, sino que es igualmente probable encontrarla en los procesos de mostrador. La automatización de los servicios financieros proviene principalmente de la tecnología informática, que puede manejar con flexibilidad una amplia gama de procesos en múltiples lugares. Otro factor que permite la tecnología tanto en el mostrador como en la trastienda de los servicios financieros es el bajo costo de inversión. Por ejemplo, el costo de capital típico en un proceso de manufactura podría ser de $300,000 por empleado. En los procesos de servicio financieros, podría ser tan sólo del orden de $50,000 por empleado. En términos de la figura 4.8, el volumen de equilibrio para introducir la tecnología en los servicios es mucho más bajo.

ECONOMÍAS DE ALCANCE

Si la intensidad de capital es alta, la flexibilidad de recursos es baja. King Soopers elabora eficientemente un producto de alto volumen (hogazas de pan) en una línea automatizada (intensidad de capital alta), con poco personal para monitorear esta operación, pero el proceso tiene baja flexibilidad de recursos. En contraste, la línea de pasteles por pedido tiene un volumen de producción bajo porque requiere un alto grado de personalización. Para satisfacer los pedidos especiales del cliente, los recursos deben ser flexibles y, en virtud de que el proceso requiere trabajo manual, la intensidad de capital es baja.

En ciertos tipos de operaciones manufactureras, como las de maquinado y ensamble, la automatización programable rompe esta relación inversa entre flexibilidad de recursos e intensidad de capital. Con esto es factible tener al mismo tiempo una alta intensidad de capital y una alta flexibilidad de recursos, lo cual genera economías de alcance. Las **economías de alcance** reflejan la capacidad de fabricar productos múltiples en combinación a un costo menor que si se produjeran por separado. En tales situaciones, dos prioridades competitivas antagónicas (la personalización y el precio bajo) se vuelven más compatibles. Sin embargo, para aprovechar las economías de alcance es necesario que una familia de partes o productos tenga suficiente volumen, en forma colectiva, para que el equipo se pueda utilizar en toda su capacidad.

economías de alcance

Economías que reflejan la capacidad de fabricar productos múltiples en combinación a un costo menor que si se produjeran por separado.

Las economías de alcance también aplican a los procesos de servicio. Considérese, por ejemplo, el enfoque de Disney en Internet. Cuando los gerentes de la empresa incursionaron en el mundo volátil de Internet, sus líneas de negocios estaban unidas por lazos muy débiles. La empresa Infoseek de Disney, de hecho, ni siquiera era de propiedad entera. Sin embargo, una vez que sus mercados de Internet cristalizaron, los gerentes de Disney actuaron para cosechar los beneficios de las economías de alcance. Vincularon de forma dinámica sus procesos de Internet entre sí y con otras partes de Disney. Una tecnología flexible que maneja muchos servicios en conjunto puede ser menos costosa que manejar cada uno por separado, en particular cuando los mercados no son demasiado volátiles.

> AJUSTE ESTRATÉGICO <

El estratega de procesos debe comprender cómo se conectan las cuatro principales decisiones sobre los procesos, a fin de descubrir la manera de mejorar los procesos mal diseñados. Las opciones deben ajustarse a la situación y además entre sí. Cuando el ajuste es más *estratégico,* el proceso será más eficaz. Se examinarán los procesos de servicio y manufactureros para buscar la forma de comprobar el ajuste estratégico.

PATRONES DE DECISIONES PARA PROCESOS DE SERVICIO

El común denominador de las decisiones sobre los procesos de servicio es principalmente el contacto con el cliente. La figura 4.9 muestra cómo la estructura del proceso y otras decisiones clave sobre éste se relacionan con el contacto con el cliente. Un nivel alto de contacto con el cliente en un proceso de servicio de mostrador significa:

1. *Estructura del proceso.* El cliente (interno o externo) está presente, participa activamente y recibe atención personal. Estas condiciones crean procesos con alto nivel de complejidad y divergencia y flujos flexibles de proceso.
2. *Participación del cliente.* Cuando el contacto con el cliente es alto, hay más probabilidades de que éste forme parte del proceso. El servicio creado para cada cliente es único.
3. *Flexibilidad de los recursos.* Un alto grado de divergencia y flujos flexibles de proceso se corresponden con una mayor flexibilidad de los recursos del proceso: mano de obra, instalaciones y equipo.
4. *Intensidad de capital.* Cuando el volumen es más alto, la automatización y la intensidad de capital son más factibles. Aunque en general se supone que los volúmenes más altos se encuentran en la trastienda, es igualmente probable que estos volúmenes se presenten en los procesos de mostrador de los servicios financieros. La tecnología informática es uno de los principales tipos de automatización en muchos procesos de servicio, que conjunta tanto la flexibilidad de recursos como la automatización.

Por supuesto, esta lista presenta tendencias generales, más que prescripciones rígidas. Hay excepciones, pero estas relaciones ofrecen una manera de comprender cómo se pueden vincular coherentemente las decisiones sobre los procesos.

PATRONES DE DECISIONES PARA PROCESOS DE MANUFACTURA

El común denominador de las decisiones sobre los procesos de manufactura es el volumen. La figura 4.10 resume las relaciones entre el volumen y las cuatro decisiones fundamentales sobre los procesos. Los volúmenes altos en un proceso de manufactura típicamente significan:

1. *Opción de proceso.* Los altos volúmenes en la línea de pan de King Soopers, en combinación con un producto estándar, posibilitan un flujo en línea. Ocurre precisamente lo contrario con los pasteles personalizados de King Soopers, en los que un proceso de trabajo produce pasteles de conformidad con pedidos específicos de los clientes.
2. *Participación del cliente.* La participación del cliente no es un factor que influya en la mayoría de los procesos de manufactura, salvo por las decisiones que se toman sobre la variedad de productos y la personalización. Se permite menos discrecionalidad en los procesos en línea o de flujo continuo para evitar las exigencias impredecibles requeridas por los pedidos personalizados.

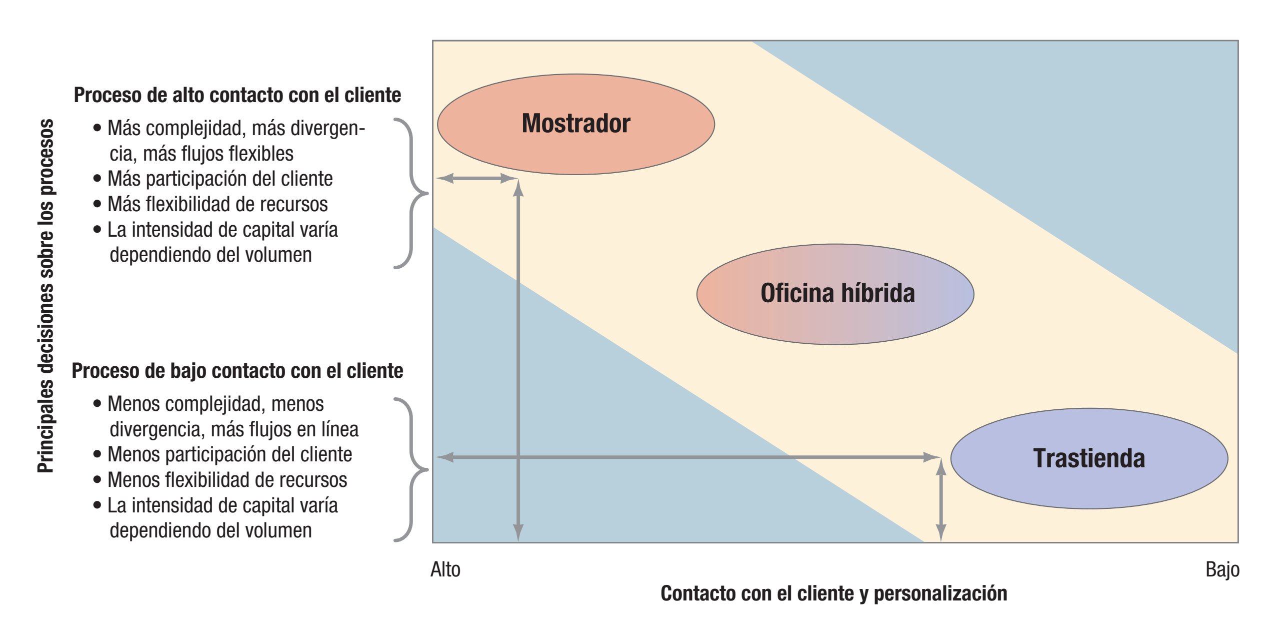


FIGURA 4.9 | Patrones de decisiones para procesos de servicio

3. *Flexibilidad de recursos.* Cuando los volúmenes son altos y la divergencia del proceso es baja, la flexibilidad no se necesita para utilizar los recursos con eficacia, y la especialización puede producir procesos más eficientes. La línea de pan de King Soopers sólo puede fabricar un producto: pan.
4. *Intensidad de capital.* Los volúmenes altos justifican los elevados costos fijos de una operación eficiente. La línea de pan de King Soopers es intensiva en capital. Está automatizada, desde la preparación de la masa hasta la colocación del producto en las bandejas de embarque. La expansión de este proceso sería muy costosa. En contraste, el proceso de fabricación de pasteles al gusto del cliente de King Soopers es intensivo en mano de obra y requiere poca inversión para equipar a los trabajadores.

ADQUIRIR ENFOQUE

En el pasado, a menudo se agregaban nuevos productos o servicios a la instalación con la finalidad de lograr una utilización más completa de los costos fijos y mantener todas las operaciones bajo el mismo techo. El resultado era una maraña de prioridades competitivas, estructuras de procesos y tecnologías. Por el afán de hacerlo todo, nada se hacía bien.

Enfoque por segmentos de procesos Con frecuencia, los procesos de una instalación no pueden definirse y de hecho tampoco pueden diseñarse para un conjunto de prioridades competitivas y una opción de proceso. King Soopers realizaba tres procesos bajo un solo techo, pero la dirección los dividió en tres operaciones distintas que eran relativamente autónomas. En una instalación de servicio, algunas partes del proceso pueden parecer de mostrador y otras de trastienda. Esas distribuciones logran ser eficaces siempre que cada proceso esté suficientemente enfocado.

plantas dentro de plantas (PWP)

Operaciones diferentes ubicadas dentro de una instalación, con prioridades competitivas, fuerzas de trabajo y procesos individualizados bajo el mismo techo.

Las **plantas dentro de plantas (PWP)** (del inglés, *plants within plants*) son operaciones diferentes ubicadas dentro de una instalación, con prioridades competitivas, fuerzas de trabajo y procesos individualizados bajo el mismo techo. Las líneas divisorias entre las PWP pueden establecerse separando físicamente las subunidades o simplemente con una revisión de las relaciones organizacionales. En cada PWP, la personalización, la intensidad de capital, el volumen y otras relaciones son vitales y deben complementarse entre sí. Las ventajas de las PWP son una disminución de los niveles administrativos, más posibilidades de practicar la resolución de problemas en equipo y líneas de comunicación más cortas entre los departamentos.

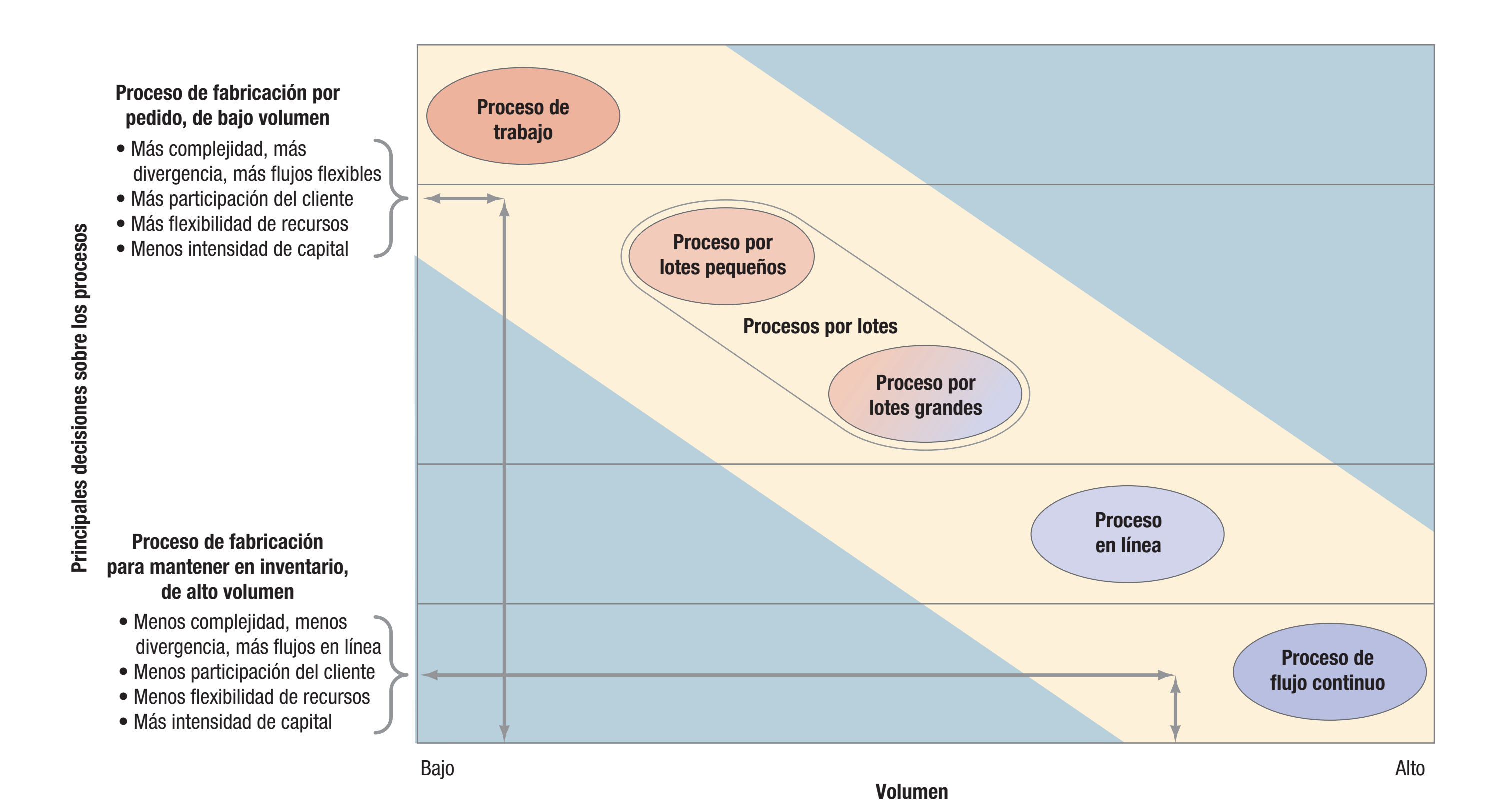


FIGURA 4.10 | Patrones de decisión para procesos de manufactura

Operaciones de servicio enfocadas En las industrias de servicio también se han implementado los conceptos de enfoque y PWP. Los minoristas de especialidades, como The Gap y The Limited, abrieron tiendas que ofrecen espacios más pequeños y más accesibles. Estas instalaciones enfocadas hicieron mella en el negocio de las grandes tiendas de departamentos. Siguiendo la misma filosofía, algunas tiendas de departamentos se están enfocando en clientes o productos específicos. Las tiendas remodeladas crean el efecto de muchas boutiques pequeñas bajo un mismo techo.

Fábricas enfocadas Hewlett-Packard, S.C. Johnson and Sons, Ricoh y Mitsubishi de Japón, e Imperial Chemical Industries PLC de Gran Bretaña son algunas de las empresas que han creado **fábricas enfocadas**, para lo cual subdividieron las grandes plantas donde se fabricaban todos los productos de la compañía en varias plantas especializadas más pequeñas. La teoría es que si se restringe la variedad de demandas impuestas a una instalación se logrará un mejor desempeño, porque así la gerencia puede concentrarse en un menor número de tareas y guiar a la mano de obra hacia la consecución de una sola meta. En algunas situaciones, una planta donde se producían y ensamblaban todos los componentes de un producto puede dividirse en dos: una que produce los componentes del producto y otra que los ensambla, de manera que cada una de ellas se enfoque en su tecnología de procesos individual.

fábricas enfocadas

Es el resultado de que una empresa divida las plantas grandes donde se producían todos los productos de la compañía en varias plantas especializadas más pequeñas.

> ESTRATEGIAS PARA EL CAMBIO <

Las cuatro principales decisiones de procesos representan aspectos estratégicos generales. Las decisiones que se toman deben traducirse en diseños o rediseños reales de los procesos. Concluiremos con dos filosofías diferentes, pero complementarias, para diseñar procesos: (1) la reingeniería de procesos, y (2) el mejoramiento de procesos. Examinaremos primero la reingeniería de procesos y el grado considerable de atención que recibió en los círculos administrativos durante la última década.

REINGENIERÍA DE PROCESOS

La **reingeniería** es la reconsideración fundamental y el rediseño radical de los procesos para mejorar drásticamente el desempeño en términos de costo, calidad, servicio y rapidez. La reingeniería de procesos es una especie de reinvención, más que un mejoramiento gradual. Se trata de una medicina potente que no siempre resulta necesaria o exitosa. Los cambios masivos casi siempre van acompañados de dolor, en la forma de despidos y grandes erogaciones de efectivo para inversiones en tecnología informática. Sin embargo, la reconversión de procesos mediante la reingeniería puede producir enormes beneficios. Por ejemplo, Bell Atlantic sometió a reingeniería sus empresas telefónicas. Al cabo de cinco años de esfuerzos, redujo el tiempo de conexión para sus nuevos suscriptores, de 16 días a sólo unas horas. Por estos cambios, Verizon cesó a 20,000 empleados, pero la compañía es ahora sin duda más competitiva.

reingeniería

Es la reconsideración fundamental y el rediseño radical de los procesos para mejorar drásticamente el desempeño en términos de costo, calidad, servicio y rapidez.

Los procesos que se seleccionan para la reingeniería deben ser procesos centrales, como las actividades mediante las cuales se surten los pedidos de los clientes. A continuación, la reingeniería requiere centrar la atención en el proceso elegido, empleando a menudo equipos interdisciplinarios, tecnología informática, liderazgo y análisis de procesos. Examinemos cada elemento del enfoque general.

Procesos críticos El interés de la reingeniería debe centrarse en los procesos fundamentales del negocio, y no en departamentos funcionales, como los de compras o marketing. Si los gerentes enfocan su atención en los procesos, pueden descubrir oportunidades para suprimir actividades innecesarias de trabajo y supervisión, en lugar de preocuparse por defender su territorio. Considerando la cantidad de tiempo y energía que requiere, la reingeniería debe reservarse solamente para los procesos esenciales, como el desarrollo de nuevos productos o el servicio al cliente. Las actividades encaminadas al mejoramiento de los procesos normales pueden continuarse con los demás procesos.

Liderazgo fuerte Los altos ejecutivos deben aportar un liderazgo fuerte para que la reingeniería tenga éxito. De lo contrario, el escepticismo, la resistencia ("ya habíamos intentado eso antes") y las fronteras entre los departamentos pueden obstaculizar los cambios radicales. Los gerentes deben contribuir a vencer la resistencia aportando su poder e influencia en el grado necesario para garantizar que el proyecto se desarrolle dentro de un contexto estratégico. Los ejecutivos deben establecer y monitorear los objetivos de desempeño claves para cada proceso. La alta dirección también debe crear un sentido de urgencia, presentando una argumentación a favor del cambio que sea convincente y que se renueve constantemente.

Equipos interdisciplinarios Un equipo constituido por miembros de cada una de las áreas funcionales afectadas por el cambio de proceso se encarga de llevar a cabo el proyecto de reingeniería.

Por ejemplo, en la reingeniería de un proceso para atender reclamaciones de seguros deberán estar representados tres departamentos: servicio al cliente, ajustes y contabilidad. La reingeniería funciona mejor en lugares de trabajo con alta participación, donde los equipos autodirigidos y la política de *empowerment* de los empleados son más la regla que la excepción. Las iniciativas de arriba abajo y de abajo hacia arriba pueden aplicarse en combinación: las de arriba abajo para establecer los objetivos de desempeño y las de abajo hacia arriba para decidir cómo habrán de alcanzarse dichos objetivos.

Tecnología informática La tecnología informática es uno de los principales motores de la ingeniería de procesos. En la mayoría de los proyectos de reingeniería se diseñan procesos en torno a flujos de información, como los datos sobre el surtido de los pedidos de los clientes. Los "propietarios del proceso", que son quienes realmente tendrán que responder a los acontecimientos en el mercado, necesitan redes de información y tecnología de computación para desempeñar mejor sus tareas. El equipo de reingeniería debe considerar a fondo quiénes necesitan la información, cuándo la necesitan y dónde.

Filosofía de "borrón y cuenta nueva" La reingeniería requiere una filosofía de "borrón y cuenta nueva", o sea, que tome como punto de partida la forma en que el cliente desea tratar con la compañía. Para asegurar la adopción de una orientación enfocada en el cliente, los equipos comienzan con los objetivos de los clientes internos y externos del proceso. Es frecuente que los equipos establezcan primero un precio deseado para el producto o servicio, deduzcan las utilidades esperadas y después busquen un proceso que provea lo que el cliente desea, al precio que dicho cliente estará dispuesto a pagar. La reingeniería empieza en el futuro y va trabajando hacia atrás, sin las restricciones de los métodos actuales.

Análisis de procesos Además de la filosofía de "borrón y cuenta nueva", el equipo de reingeniería debe comprender varias cosas acerca del proceso actual: qué produce, cómo se desempeña y qué factores lo afectan. Esta comprensión puede revelar las áreas en las cuales una nueva forma de pensar redundará en los mayores beneficios. El equipo debe examinar todos los procedimientos que intervienen en el proceso en toda la organización, registrando cada paso, investigando por qué se hace así y eliminándolo después si no es verdaderamente necesario. También es valiosa la información sobre la posición relativa frente a la competencia, proceso por proceso.

La reingeniería ha conducido a muchos éxitos y seguirá haciéndolo. Sin embargo, no es sencilla ni se realiza fácilmente, tampoco es apropiada para todos los procesos o todas las organizaciones. Muchas empresas carecen del tiempo y los recursos necesarios para implementar un enfoque radical de "borrón y cuenta nueva". Es posible lograr mejoras significativas de los procesos que no tienen relación alguna con la tecnología informática. Por último, el conocimiento más amplio de un proceso y de la forma en que se puede mejorar con frecuencia surge de la gente que realiza ese trabajo todos los días, y no de los equipos interfuncionales o de la alta dirección.

MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS

mejoramiento de los procesos
El estudio sistemático de las actividades y flujos de cada proceso a fin de mejorarlo.

El **mejoramiento de los procesos** es el estudio sistemático de las actividades y flujos de cada proceso a fin de mejorarlo. Su propósito es "aprender las cifras", entender el proceso y desentrañar los detalles. Una vez que se ha comprendido realmente un proceso, es posible mejorarlo. La implacable presión por ofrecer una mejor calidad a un menor precio significa que las compañías tienen que revisar continuamente todos los aspectos de sus operaciones. Como afirmó el presidente ejecutivo de Dana Corporation, la empresa fabricante de partes para automóviles tasada en 7,900 millones de dólares: "Hay que mejorar la productividad por siempre". El mejoramiento de los procesos sigue su marcha, independientemente de que un proceso sea sometido o no a la reingeniería.

Se examina cada aspecto del proceso. Una persona o todo un equipo examinan el proceso usando las herramientas que se describen en el siguiente capítulo. Debe buscarse la manera de racionalizar las tareas, eliminar por completo procesos enteros, suprimir materiales o servicios costosos, mejorar el entorno o hacer que los puestos de trabajo sean más seguros. Debe encontrarse el modo de reducir los costos y retrasos y de mejorar la satisfacción del cliente.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

TÉRMINOS CLAVE

automatización 136
automatización fija 136
automatización flexible (o programable) 136
complejidad del proceso 125
contacto activo 124
contacto con el cliente 123
contacto pasivo 124
divergencia del proceso 125
economías de alcance 138
estrategia de ensamble por pedido 131
estrategia de fabricación para mantener en inventario 131
estrategia de fabricación por pedido 131
estrategia de procesos 120
estructura del proceso 122
fábricas enfocadas 141
flexibilidad de los recursos 122
flujo en línea 126
flujo flexible 126
intensidad del capital 122
ISO 14001 121
mano de obra flexible 135
mejoramiento de los procesos 142
mostrador 126
oficina híbrida 126
opción de proceso 129
participación del cliente 122
plantas dentro de plantas (PWP) 140
proceso de flujo continuo 130
proceso de trabajo 130
proceso en línea 130
proceso por lotes 130
producción en masa 132
reingeniería 141
trastienda 127

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. ¿Qué procesos de las empresas manufactureras son en realidad procesos de servicio que requieren un grado considerable de contacto con el cliente? ¿El contacto con el cliente puede ser alto, aun cuando el proceso sólo tenga clientes internos?
2. Considere este letrero colocado en un restaurante de la localidad: "Los pedidos para llevar NO incluyen papas fritas y salsa de cortesía. Si tiene alguna pregunta, consulte a nuestros gerentes y NO a nuestros empleados". ¿Qué impacto tiene este mensaje en los empleados, los procesos de servicio y la satisfacción de los clientes del restaurante? Contraste este enfoque con el que se aplica en los hoteles The Ritz-Carlton. ¿Las diferencias se deben principalmente a que cada uno tiene distintas prioridades competitivas?
3. La tecnología médica puede proporcionar un corazón artificial a un paciente, o curar defectos de la vista con el toque de un rayo láser. Sin embargo, los hospitales siguen batallando con sus procesos de trastienda, como llevar los expedientes de rayos X de radiología en el cuarto piso a las cajas de luz del primer piso de la sala de urgencias sin tener que enviar a un corredor. Más de 90% de los 30,000 millones estimados de transacciones de salud anuales se realizan por teléfono, fax o correo. ¿Hasta qué punto, y cómo, la tecnología informática puede mejorar la productividad y la calidad de dichos procesos? Recuerde que algunos doctores no están dispuestos a renunciar a sus cuadernos de notas y lápices, y en muchos hospitales existen líneas divisorias muy marcadas entre los distintos departamentos, como farmacia, cardiología, radiología y pediatría.
4. Con el fin de ofrecer un incentivo para que las empresas de servicios públicos gasten dinero en una nueva tecnología para el control de la contaminación, la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) ha propuesto una modificación de los límites correspondientes a las emisiones de gases a través de conductos, de modo que ahora se requiera en las chimeneas un grado de limpieza ligeramente mayor del que puede conseguirse con la tecnología anterior. Para cumplir con estas disposiciones, algunas empresas de servicios públicos instalarán la nueva tecnología. Otras no. Las empresas que reduzcan sus emisiones por debajo de los nuevos límites recibirán "créditos", que podrán vender a las empresas que decidan no instalar la tecnología para el control de la contaminación. Estas últimas empresas podrán continuar operando como de costumbre, siempre que compren suficientes créditos para responder por la contaminación adicional que generen. El libre mercado determinará el precio de los créditos.

   Forme equipos para un debate sobre los aspectos éticos, ambientales y políticos y los puntos en que habrá que transigir asociados con esta propuesta.
5. Dewpoint Chemical Company está en vías de decidir en qué lugar deberá instalar una planta de fertilizantes cerca del Río Grande. ¿Cuáles son los aspectos éticos, ambientales y políticos y los puntos en que habrá que transigir asociados con el hecho de situar la planta de fertilizantes en la orilla norte, o bien en la orilla sur del Río Grande?

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso. Los problemas 3 y 4 aplican el análisis de punto de equilibrio (que se explica en el suplemento A, "Toma de decisiones") a las decisiones sobre los procesos.

1. Evalúe un proceso de servicio con el cual esté familiarizado, con base en cada una de las cinco dimensiones de contacto con el cliente. Use una escala de siete puntos, donde

1 = muy bajo y 7 = muy alto. Explique sus calificaciones y luego calcule una calificación combinada para el contacto general con el cliente. ¿Usó ponderaciones iguales para calcular la calificación combinada? ¿Por qué sí o porqué no? ¿Qué posición ocupa el proceso en la matriz de contacto con el cliente? ¿Se encuentra alineado correctamente? ¿Por qué sí o porqué no?

2. Seleccione uno de los tres procesos de King Soopers que se muestran en el video (pan, pastas y pasteles al gusto del cliente). ¿Qué tipo de proceso de transformación, opción de proceso y estrategia de inventario intervienen? ¿El proceso se encuentra alineado correctamente? Explique.

3. La doctora Gulakowicz es ortodoncista. Ella estima que si instala dos nuevos sillones incrementará sus costos fijos en $150,000, que incluyen el costo anual equivalente a la inversión de capital y el salario de un técnico más. Se espera que cada nuevo paciente aporte un ingreso adicional de $3,000 al año, con costos variables estimados en $1,000 por paciente. Los dos nuevos sillones le permitirán ampliar su clientela hasta en 200 pacientes por año. ¿Cuántos pacientes tendrá que añadir para que el nuevo proceso alcance el punto de equilibrio?

4. Para fabricar un nuevo producto, se están considerando dos procesos de manufactura diferentes. El primero es menos intensivo en capital, con costos fijos de sólo $50,000 anuales y costos variables de $700 por unidad. El segundo proceso tiene costos fijos de $400,000, pero sus costos variables son de sólo $200 por unidad.
   a. ¿Cuál es la cantidad de equilibrio a partir de la cual el segundo proceso se vuelve más atractivo que el primero?
   b. Si las ventas anuales esperadas para el producto son de 800 unidades, ¿qué proceso elegiría usted?

CASO

Custom Molds, Inc.

Custom Molds, Inc., fabrica moldes sobre diseño personalizado para partes de plástico y produce conectores de plástico hechos por encargo para la industria electrónica. Custom Molds se localiza en Tucson, Arizona, y fue fundada por el equipo formado por Tom y Mason Miller, padre e hijo, en 1987. Tom Miller, ingeniero mecánico, tenía más de 20 años de experiencia en la industria de conectores, trabajando en AMP, Inc., una importante empresa multinacional productora de conectores electrónicos. Mason Miller se graduó de la Universidad de Arizona en 1986, con títulos conjuntos de química e ingeniería química.

La compañía se constituyó originalmente con el propósito de proveer a los fabricantes de conectores electrónicos moldes de diseño personalizado, de alta calidad, para fabricar partes de plástico. El mercado consistía principalmente en las divisiones de diseño y desarrollo de productos de esos fabricantes. Custom Molds trabajó en estrecha colaboración con cada cliente a fin de diseñar y producir los moldes que se utilizarían en los procesos de desarrollo de productos de dichos clientes. Por lo tanto, prácticamente cada molde tenía que satisfacer normas rigurosas y, en cierta forma, era único. Los pedidos de múltiples moldes llegarían cuando los clientes pasaran de la etapa de desarrollo consistente en el diseño y las partidas de prueba, a la producción en gran escala de las partes recién diseñadas.

Con el paso de los años, aumentó el prestigio de Custom Molds como diseñadores y fabricantes de moldes de precisión. Con base en ese prestigio, los Miller decidieron incursionar en la fabricación limitada de partes de plástico. Se añadieron instalaciones para mezclar ingredientes y equipo de moldeo por inyección, y a mediados de la década de 1990, la reputación de Custom Molds ya se había ampliado al destacarse como proveedor de partes de plástico de alta calidad. Considerando los límites de su capacidad, la compañía concentró sus esfuerzos de venta en el suministro de partes utilizadas en cantidades limitadas para actividades de investigación y desarrollo, y en las pruebas piloto de preproducción.

Procesos de producción

En 1997, las operaciones de Custom Molds incluían dos procesos diferentes: uno para la construcción de moldes y otro para producir partes de plástico. A pesar de sus diferencias, estos dos procesos estaban relacionados en muchos casos, como cuando un cliente solicitaba a Custom Molds tanto la fabricación de un molde como la producción de las partes necesarias para apoyar los esfuerzos de investigación y diseño del cliente. Todas las operaciones de fabricación y producción se realizaban en una misma instalación. La distribución general era la característica de un taller de trabajo típico, pues los procesos semejantes y el equipo similar estaban agrupados en varios lugares de la planta. La figura 4.11 muestra un plano esquemático de ésta última. Múltiples unidades de maquinaria de alta precisión de diversos tipos, como fresadoras, tornos y equipo de corte y perforación, se hallaban en el área de construcción de moldes.

La construcción de moldes es un proceso que requiere destreza y está a cargo de un artesano. Cuando se recibe un pedido, un equipo de diseño, formado por un ingeniero en diseño y uno

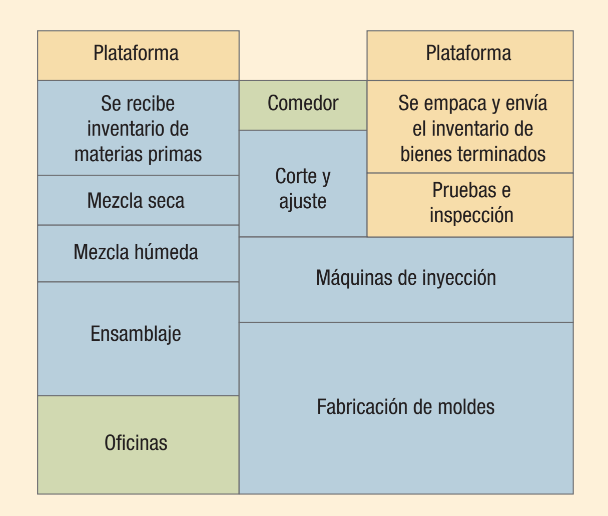


FIGURA 4.11 | Plano general de la planta

de los 13 maestros de máquinas, revisa las especificaciones de diseño. Trabajando en estrecha colaboración con el cliente, el equipo establece las especificaciones finales para el molde y las entrega al maestro de máquinas para su fabricación. Siempre se elige el mismo maquinista que fue asignado al equipo de diseño. Al mismo tiempo, el departamento de compras recibe una copia de las especificaciones de diseño, a partir de las cuales hace el pedido de las materias primas y herramientas especiales correspondientes. Generalmente, el tiempo necesario para recibir los materiales solicitados es de tres a cuatro semanas. Cuando llegan los materiales para la construcción de un molde en particular, el maestro programador de la planta revisa la carga de trabajo del maestro de máquinas asignado, e incluye la fabricación del molde en el programa de trabajo.

La fabricación de un molde requiere entre 2 y 4 semanas, dependiendo de la cantidad de trabajo que el maquinista tenga ya programado. El proceso de fabricación, en sí mismo, requiere sólo entre 3 y 5 días. Una vez terminado, el molde se envía al área de pruebas e inspección, donde se utiliza para producir un pequeño número de partes en alguna de las máquinas de moldeo por inyección. Si esas partes cumplen con las especificaciones de diseño establecidas por el equipo de diseño, el molde sigue su curso para ser limpiado y pulido. Luego, se empaca y envía al cliente. Se dedica un día a la inspección y prueba del molde, y otro día más a la limpieza, pulido, empacado y embarque del molde para su entrega al cliente. Si las partes fabricadas con el molde no satisfacen las especificaciones de diseño, éste se devuelve al maestro de máquinas para que lo trabaje de nuevo con las herramientas, y así el proceso comienza de nuevo. En la actualidad, Custom Molds tiene un tiempo anunciado de 9 semanas para entregar al cliente los moldes fabricados.

El proceso de manufactura de las partes de plástico difiere un poco de la construcción de moldes. Un pedido de partes se puede recibir conjuntamente con un pedido de fabricación de moldes, o el pedido puede referirse sólo a las partes en aquellos

casos en los que Custom Molds ha fabricado previamente el molde y lo conserva en su inventario. Si el molde ya está disponible, el pedido es revisado por un ingeniero en diseño, quien verifica las especificaciones de la parte y las materias primas. Si el ingeniero de diseño tiene alguna duda sobre las especificaciones, se pone en contacto con el cliente y ambos trabajan conjuntamente en la revisión de las especificaciones hasta llegar a un acuerdo.

En cuanto se aceptan las especificaciones de la parte y las materias primas, se hacen los pedidos de dichos materiales y se programa la producción del pedido. Los reactivos y compuestos químicos, que sirven de base para la fabricación de partes de plástico, se piden y reciben generalmente en un plazo de una semana. Cuando se reciben los compuestos, primero se mezclan en seco y se combinan para que tengan la composición correcta, y luego la mezcla se humedece hasta adquirir la consistencia adecuada (llamada *lechada*) para ser inyectada en las máquinas de moldeo. Cuando está lista, la lechada se transfiere al área de moldeo por inyección, a través de una tubería colocada en alto, y se deposita en tanques contenedores colocados junto a las máquinas de inyección. Todo el proceso de mezclado se realiza en un solo día.

Cuando la lechada se asienta y está lista, se fijan los moldes adecuados (traídos del inventario o de la operación de limpieza y pulido si se trata de nuevos moldes construidos para el pedido) y se fabrican las partes. Aunque cada parte requiere diferentes ajustes de temperatura y presión, el tiempo necesario para producir una parte es relativamente constante. El departamento de moldeo por inyección de Custom Molds tiene capacidad para producir 5,000 partes diarias; sin embargo, históricamente, el tiempo de preparación para atender pedidos en ese departamento ha sido en promedio de una semana. Cuando el moldeo está completo, se llevan las partes a la operación de corte y ajuste, donde se separan y se eliminan las rebabas restantes. Después de ser inspeccionadas, las partes se llevan a ensamblaje o se transfieren al área de empaque y embarque para enviarlas al cliente. Si no se requiere ensamblar las partes finales, éstas pueden enviarse al cliente dos días después de haber sido moldeadas.

A veces, el producto final requiere cierto ensamblaje. Normalmente, esto implica unir guías de metal a los conectores de plástico. Si se requiere ese ensamblaje, se necesitarán tres días adicionales para que el pedido se envíe al cliente. En la actualidad, Custom Molds propone un lapso de 3 semanas para la entrega de partes que no requieren la fabricación de un molde.

El entorno cambiante

A principios de 2006, Tom y Mason Miller empezaron a darse cuenta de que la industria electrónica a la cual abastecían, y junto con ella su propio negocio, estaba cambiando. Tradicionalmente, los fabricantes de artículos electrónicos habían fabricando sus propias partes componentes, con el fin de reducir los costos y asegurar la entrega puntual de dichas partes. En la década de 1990, esta tendencia ya había cambiado. Los fabricantes estaban formando sociedades estratégicas con los proveedores de partes para asegurar la entrega oportuna de partes rentables y de alta calidad. Este enfoque permitió que los fondos se destinaran a otros usos que pudieran producir un mayor rendimiento de la inversión.

El impacto de esto sobre Custom Molds se apreció en las cifras de venta de los tres últimos años. La mezcla de ventas estaba cambiando. Aunque el número de pedidos por año para la fabricación de moldes permanecía prácticamente constante, los pedidos de múltiples moldes estaban disminuyendo, como se muestra en la siguiente tabla.

	Número de pedidos		
Tamaño del pedido	**Moldes 2003**	**Moldes 2004**	**Moldes 2005**
1	80	74	72
2	60	70	75
3	40	51	55
4	5	6	5
5	3	5	4
6	4	8	5
7	2	0	1
8	10	6	4
9	11	8	5
10	15	10	5
Total de pedidos	230	238	231

La situación inversa se presentaba en el caso de las partes de plástico, porque el número de pedidos por año había disminuido, pero el tamaño de dichos pedidos iba en aumento, como se ilustra en la siguiente tabla:

	Número de pedidos		
Tamaño del pedido	**Partes 2003**	**Partes 2004**	**Partes 2005**
50	100	93	70
100	70	72	65
150	40	30	35
200	36	34	38
250	25	27	25
500	10	12	14
750	1	3	5
1,000	2	2	8
3,000	1	4	9
5,000	1	3	8
Total de partes	286	280	277

En ese mismo periodo, Custom Molds empezó a tener dificultades con sus fechas de entrega. Los clientes se quejaban de que sus pedidos de partes tardaban entre cuatro y cinco semanas, en lugar de las tres semanas convenidas, y que esos retrasos producían trastornos en los programas de producción. Cuando se le preguntó sobre la situación al maestro de programación, éste respondió que era muy difícil determinar para cuándo se podía prometer la entrega de un pedido en particular. La razón eran los cuellos de botella que se presentaban durante el proceso

de producción, pero no se podía prever cuándo o dónde ocurrirían. Parecía que siempre saltaban de una operación a otra.

Tom Miller pensó que tenía un exceso de capacidad de mano de obra en el área de fabricación de moldes. Por lo tanto, para contribuir a sacar adelante los pedidos que estaban retrasados, asignó a uno de los maestros de máquinas la tarea de identificar y agilizar esos pedidos. No obstante, parece que eso no sirvió de mucho, pues las quejas por entregas retrasadas siguieron llegando. Para complicar los problemas, recientemente fueron devueltos dos pedidos porque contenían partes defectuosas. Los Miller sabían que tenían que hacer algo, pero la pregunta era "¿qué?".

PREGUNTAS

1. ¿Cuáles son los principales problemas que enfrentan Tom y Mason Miller?
2. ¿Cuáles son las prioridades competitivas para los procesos de Custom Molds y el carácter cambiante de la industria?
3. ¿Qué alternativas podrían elegir los Miller? ¿Qué factores clave deben tomar en consideración al evaluar esas alternativas?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAlster, Norm, “What Flexible Workers Can Do”, *Fortune*, 13 de febrero de 1989, pp. 62–66.

Bowen, John y Robert C. Ford, “Managing Service Organizations: Does Having a ‘Thing’ Make a Difference?”, *Journal of Management*, volumen 28, número 3, 2002, pp. 447–469.

Collier, D. A. y Meyer, S., “An Empirical Comparison of Service Matrices”, *International Journal of Operations and Production Management*, volumen 20, número 5–6, 2000, pp. 705–729.

Collier, D. A. y Meyer, S., “A Positioning Matrix for Services”, *International Journal of Operations and Production Management*, volumen 18, número 12, 1998, pp. 1223–1244.

Collins, Jim, *Good to Great: Why Some Companies Make the Leap… and Others Don’t,* Nueva York, HarperCollins, 2001.

Cook, David P., Chon-Huat Goh y Chen H. Chung, “Service Typologies: A State of the Art Survey”, *Production and Operations Management*, volumen 8, número 3, 1999, pp. 318–338.

Dixon, J. Robb, Peter Arnold, Janelle Heineke, Jay S. Kim y Paul Mulligan, “Business Process Reengineering: Improving in New Strategic Directions”, *California Management Review*, verano de 1994, pp. 1–17.

Fitzsimmons, James A. y Mona J. Fitzsimmons, *Service Management: Operations, Strategy y Information Technology*, Nueva York, McGraw-Hill, 1998.

Goldhar, J. D. y Mariann Jelinek, “Plan for Economies of Scope”, *Harvard Business Review,* noviembre-diciembre de 1983, pp. 141–148.

Grover, Varun y Manoj K. Malhotra, “Business Process Reengineering: A Tutorial on the Concept, Evolution, Method, Technology and Application”, *Journal of Operations Management*, volumen 15, número 3, 1997, pp. 194–213.

Hall, Gene, Jim Rosenthal y Judy Wade, “How to Make Reengineering Really Work”, *Harvard Business Review,* noviembre-diciembre de 1993, pp. 119–131.

Hammer, M., “Reengineering Work: Don’t Automate, Obliterate”, *Harvard Business Review*, volumen 68, número 4, 1990, pp. 104–112.

Hammer, Michael, “Deep Change: How Operational Innovation Can Transform Your Company”, *Harvard Business Review*, volumen 82, número 4, abril de 2004, pp. 85–93.

Hammer, M, *Beyond Reengineering*, Nueva York, Harper Business, 1996.

Hammer, Michael y James Champy, *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution,* Nueva York, HarperBusiness, 1993.

Hill, Terry. *Manufacturing Strategy: Text and Cases*, 3ª ed., Homewood, IL, Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Hill, Terry. *The Strategy Quest*, Coventry, Gran Bretaña, AMD Publishing (UK), 1998.

Kelliher, Clare y Michael Riley, “Beyond Efficiency: Some By-Products of Functional Flexibility”, *Service Industries Journal*, volumen 23, número 4, 2003, pp. 98–114.

Kellogg, Deborah L. y Winter Nie, “A Framework for Strategic Service Management”, *Journal of Operations Management*, volumen 13, número 4, 1995, pp. 323–337.

Klassen, R. D. y C. P. McLauglin, “The Impact of Environmental Management on Firm Performance”, *Management Science*, volumen 42, número 8, 1990, pp. 1100–1214.

Leibs, Scott, “A Little Help from Their Friends”, *Industry Week*, 2 de febrero de 1998.

Lovelock, Christopher H. y George S. Yip, “Developing Global Strategies for Service Businesses”, *California Management Review,* volumen 38, número 2, 1996, pp. 64–86.

“Making It by the Billions”, *The Boston Globe*, 9 de agosto de 1998.

Makowe, J., *Beyond the Bottom Line*, Nueva York, Simon & Schuster, 1994.

Malhotra, Manoj K. y Larry P. Ritzman, “Resource Flexibility Issues in Multistage Manufacturing”, *Decision Sciences*, volumen 21, número 4, 1990, pp. 673–690.

Melnyk, S. A., Robert P. Sroufe y Roger Calantone, “Assessing the Impact of Environmental Management Systems on Corporate and Environmental Performance”, *Journal of Operations Management*, volumen 21, número 3, 2003, pp. 329–351.

Mersha, Tigineh, “Enhancing the Customer Contact Model”, *Journal of Operations Management*, volumen 9, número 3, 1990, pp. 391–405.

Metters, Richard, Kathryn King-Metters y Madeleine Pullman, *Successful Service Operations Management*, Mason, OH, South-Western, 2003.

Narasimhan, Ram y Jayanth Jayaram, “Reengineering Service Operations: A Longitudinal Case Study”, *Journal of Operations Management*, volumen 17, número 1, 1998, pp. 7–22.

Port, Otis. “The Responsive Factory”, *Business Week*, Enterprise 1993, pp. 48–51.

“Process, Process, Process”, *Planning Review* (número especial), volumen 22, número 3, 1993, pp. 1–56.

Quinn, J. B., “The Productivity Paradox Is False: Information Technology Improves Services Performance”, *Advances in Services Marketing and Management*, volumen 5, 1996, pp. 71–84.

Rayport, Jeffrey F. y Bernard J. Jaworski, “Best Face Forward”, *Harvard Business Review*, volumen 82, número 12, 2003, pp. 47–58.

Roth, Aleda V. y Marjolijn van der Velde, *The Future of Retail Banking Delivery Systems,* Rolling Meadows, IL, Bank Administration Institute, 1988.

Safizadeh, M. Hossein, Joy M. Field y Larry P. Ritzman, “An Empirical Analysis of Financial Services Processes with a Front-Office

or Back-Office Orientation", *Journal of Operations Management*, volumen 21, número 5, 2003, pp. 557–576.

Safizadeh, M. Hossein, Larry P. Ritzman y Debasish Mallick, "Revisiting Alternative Theoretical Paradigms in Manufacturing", *Production and Operations Management*, volumen 9, número 2, 2000, pp. 111–127.

Schmenner, Roger W., *Service Operations Management*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1998.

Shostack, G. Lynn, "Service Positioning Through Structural Change", *Journal of Marketing*, volumen 51, número 1, 1987, pp. 34–43.

Silvestro, R. L. Fitzgerald, R. Johnston y Chris Voss, "Toward a Classification of Service Processes", *International Journal of Service Industry Management*, volumen 3, 1992, pp. 62–75.

Skinner, Wickham, "Operations Technology: Blind Spot in Strategic Management", *Interfaces*, volumen 14, enero-febrero de 1984, pp. 116–125.

Wemmerlöv, U., "A Taxonomy for Service Processes and Its Implications for System Design", *International Journal of Service Industry Management*, volumen 1, número 1, 1990, pp. 20–40.

Wheelwright, Steven C. y Robert H. Hayes, "Competing Through Manufacturing", *Harvard Business Review*, enero-febrero de 1985, pp. 99–109.

5

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Explicar un método sistemático para analizar procesos.
2. Definir los diagramas de flujo, planos de servicio y gráficos de proceso.
3. Identificar sistemas de medición para evaluar procesos.
4. Describir los gráficos de Pareto, diagramas de causa y efecto y simulación de procesos.
5. Describir cómo se usa el *benchmarking* para crear mejores procesos.
6. Identificar las claves para administrar los procesos con eficacia.



Omgeo ideó una forma mejor de comunicar su programa de lanzamiento de productos. Los empleados analizan este aspecto de su operación general de procesamiento directo, que permite que las transacciones de compraventa de acciones pasen por todo el sistema de procesamiento en tres horas en comparación con las 20 que se necesitaban antes.

CAPÍTULO 5
Análisis de procesos

OMGEO

Cuando un administrador de inversiones de Hong Kong compra acciones a un corredor de bolsa en Tokio, lo más probable es que la transacción pase por Omgeo LLC. El nombre de Omgeo combina el vocablo latino omni, que significa "todo o en todas partes" con la palabra griega geo, que significa "Tierra". Omgeo es el principal proveedor de servicios completos de administración global de transacciones bursátiles. En 2005, procesó más de un millón de transacciones por día y atendió a 6,000 corredores-negociantes, bancos custodios y administradores de inversiones en más de 40 países. The Depository Trust & Clearing Corporation (DTCC) y Thomson Financial fundaron Omgeo en 2000 como una nueva empresa conjunta. DTCC es una institución propiedad de empresas de servicios financieros, que fue constituida por éstas para liquidar sus transacciones. Una unidad de Thomson Financial comercializaba originalmente este servicio posterior a la transacción y previo a la liquidación, a finales de la década de 1980, para ahorrarles dinero a los inversionistas institucionales. Las docenas de faxes garabateados, télexes y llamadas telefónicas que se realizaban en una transacción típica costaban entre 10 y 12 dólares, pero el proceso de Thomson permitía cargar sólo entre 20 centavos y 1 dólar por transacción; además, los administradores de inversiones recibían, en esencia, el servicio totalmente gratis. Su servicio tras bambalinas representó una mejora respecto a los procesos anteriores para realizar transacciones bursátiles, pero suponía aún una maraña de comunicaciones entre los corredores (como Goldman Sachs), los grandes inversionistas (como Royal London Asset Management) y los bancos (como el Deutsche Bank) cada vez que se colocaba una transacción. Se necesitaban de tres a cinco días para liquidar una transacción en Estados Unidos, cuando el dinero y los valores cambiaban oficialmente de manos.

Sin embargo, todo proceso puede mejorarse, en parte si se analiza con sentido crítico el proceso actual. Omgeo logró implantar una gran mejora, con la meta de realizar todo el proceso potencial-



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

mente en un solo día. Un factor clave fue Internet y las nuevas soluciones de la tecnología informática. Con el proceso revisado, los pasos 1 a 3 se realizan igual que antes. Sin embargo, con el fin de sustituir los pasos 4 a 9, se introdujo toda la información en una base de datos central a la cual los corredores, administradores de inversiones y bancos custodios tienen acceso en tiempo real (por ejemplo, para conciliación central). El proceso revisado acabó con la necesidad de agregar mensaje tras mensaje a un archivo voluminoso. Redujo en parte la monotonía agotadora de procesar las transacciones y ahorró tiempo de los empleados. También ahorró grandes cantidades de dinero porque redujo los errores humanos. Royal London Asset Management, que en la actualidad usa el sistema Omgeo Central Trade Manager (CTM), puede llevar una transacción hasta el paso 8 (aviso de liquidación) en 3 horas. Anteriormente, cuando se utilizaba el viejo proceso de Omgeo, se necesitaban 20 horas para que una transacción llegara a ese punto tan avanzado del ciclo de procesamiento. Ahora, cuentan con 17 horas adicionales para identificar y arreglar errores en la transacción y finiquitarlas el mismo día.

La tecnología informática de conciliación central de las transacciones sustituye muchos de los pasos que se realizaban en secuencia. Con la conciliación central, las asignaciones del administrador institucional de inversiones y los detalles de la transacción que proporciona el corredor se envían a un motor central, y los detalles de las transacciones se comparan de forma automática para eliminar errores. El motor CTM permite el procesamiento directo del flujo de trabajo en las operaciones de trastienda.

Fuentes: Beth Healy, “One Day, Not Three: A Push to Trade Faster.” *The Boston Globe*, 19 de julio de 2000; www.omgeo.com, marzo de 2005.

Los cambios que dieron origen a la creación de Omgeo abarcan procesos en los que hay un considerable contacto con el cliente, y reflejan una estrategia de procesos que favorece más la automatización y la “reingeniería de procesos” (en vez del “mejoramiento de procesos”). El proceso se renovó de manera tan radical que se formó una nueva compañía para implementarlo y la tecnología informática fue uno de los factores principales que habilitó el nuevo proceso.

Los procesos son tal vez el aspecto menos comprendido y administrado de una empresa. Sin importar el talento y la motivación del personal, no se puede conseguir ventaja competitiva con procesos defectuosos. Como Mark Twain dijo del río Mississippi, un proceso simplemente sigue su curso, pero con una gran diferencia. Es posible mejorar la mayoría de los procesos si alguien idea la manera y la implementa con eficacia. En efecto, o las compañías adaptan los procesos a las necesidades cambiantes de los clientes o dejan de existir. El éxito a largo plazo se debe a los gerentes y empleados que realmente entienden su negocio. Sin embargo, ocurre con demasiada frecuencia que aquellos esfuerzos que reciben mucha publicidad y parecen ofrecer soluciones fáciles al final no pueden cumplir con las expectativas, trátese de programas para conceptuar una visión de negocios, realizar campañas de transformación de la cultura o impartir capacitación en liderazgo.

Dentro del campo de la administración de operaciones, muchas innovaciones importantes en las últimas décadas incluyen programas de simplificación del trabajo o métodos mejores, control de procesos estadísticos, técnicas de optimización, técnicas de proyección estadística, planificación de necesidades de materiales, automatización flexible, manufactura esbelta, administración de la calidad total, reingeniería, programas Six Sigma, planificación de recursos empresariales y comercio electrónico. Estos importantes enfoques se cubrirán en los siguientes capítulos porque pueden agregar valor considerable para el cliente en un proceso. Sin embargo, es mejor verlos como parte de un sistema total para la administración eficaz de los procesos de trabajo que como panaceas.

Por supuesto, el análisis de procesos es necesario tanto para la reingeniería como para el mejoramiento de los procesos, pero también forma parte del monitoreo del desempeño a través del tiempo. En este capítulo, primero se analizará un proceso en detalle y se determinará con exactitud cómo se realizará cada paso. Se parte de un método sistemático para analizar un proceso, que identifica oportunidades para mejorar, documenta el proceso actual, lo evalúa para detectar brechas de desempeño, rediseña el proceso para eliminar vacíos e implementa los cambios deseados. La meta es el mejoramiento continuo.

Tres técnicas auxiliares (diagramas de flujo, planos de servicio y gráficos de proceso) ayudan a comprender con claridad el proceso actual y los cambios propuestos. Las herramientas de análisis de datos, como las listas de verificación, gráficos de barras, gráficos de Pareto y diagramas de

causa y efecto, permiten al analista pasar de los síntomas a la raíz de los problemas. La simulación es una técnica más avanzada para evaluar el desempeño de los procesos. El capítulo concluye con algunas claves para administrar los procesos con eficacia, garantizar que se implementen los cambios y se construya la infraestructura necesaria para el mejoramiento continuo.

El análisis de procesos, sin embargo, se extiende más allá de los procesos individuales. También es una herramienta para mejorar la operación de las cadenas de valor. Considérese a Zara, una de las marcas de ropa más rentables de Europa. Zara prospera porque lleva rápidamente al mercado los nuevos diseños de ropa. Para actuar con esta velocidad, creó un proceso de desarrollo de nuevos productos que es muy ágil y permite pasar con rapidez de los bocetos a los diseños preliminares y después —luego de conseguir datos confiables sobre la demanda—, finalizar los diseños sin tardanza. También diseñó un proceso ágil de surtido de pedidos en el que se fabrican y distribuyen las prendas con rapidez y eficiencia, incluso en condiciones extremas de fluctuaciones en la demanda. La capacidad del proceso de surtido de pedidos tenía que apoyar la capacidad del proceso de desarrollo de nuevos productos para ser eficaz. Como es evidente, el análisis de procesos permitió a Zara diseñar una cadena de valor competitiva.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

ANÁLISIS DE PROCESOS EN LA ORGANIZACIÓN

Es necesario que todas las partes de una organización se interesen en el análisis de procesos simplemente porque son ellas las que hacen el trabajo, y el análisis de procesos se centra en cómo se realiza realmente el trabajo. ¿Proporcionan el mayor valor a sus clientes (internos o externos) o pueden mejorarse? A menudo, Operaciones y Ventas son las primeras áreas en las que se piensa porque tienen una relación estrecha con los procesos centrales. Sin embargo, los procesos de apoyo en Contabilidad, Finanzas y Recursos Humanos también son cruciales para el éxito de una organización. La alta dirección debe participar, lo mismo que los demás departamentos. En este "pasarse la batuta", las desconexiones suelen ser lo peor y las oportunidades para mejorar, lo mejor.

MÉTODO SISTEMÁTICO

La figura 5.1 muestra un diagrama de seis pasos para el análisis de procesos. El **análisis de procesos** es la documentación y comprensión detallada de cómo se realiza el trabajo y cómo puede rediseñarse. Comienza con la identificación de las nuevas oportunidades para mejorar y termina con la implementación del proceso revisado. El último paso conecta con el primero, creando así un ciclo de mejoramiento continuo.

análisis de procesos
La documentación y comprensión detallada de cómo se realiza el trabajo y cómo puede rediseñarse.

PASO 1: IDENTIFICAR OPORTUNIDADES

Para identificar las oportunidades, los gerentes deben prestar especial atención a los cuatro procesos centrales: relaciones con los proveedores, desarrollo de nuevos servicios y productos, surtido de pedidos y relaciones con los clientes. Cada uno de estos procesos, y los subprocesos anidados dentro de ellos, contribuye a entregar valor a los clientes externos. ¿Los clientes están satisfechos actualmente con los servicios o productos que reciben, o hay oportunidades para mejorar? ¿Qué sucede con los clientes internos? La satisfacción de los clientes debe monitorearse de

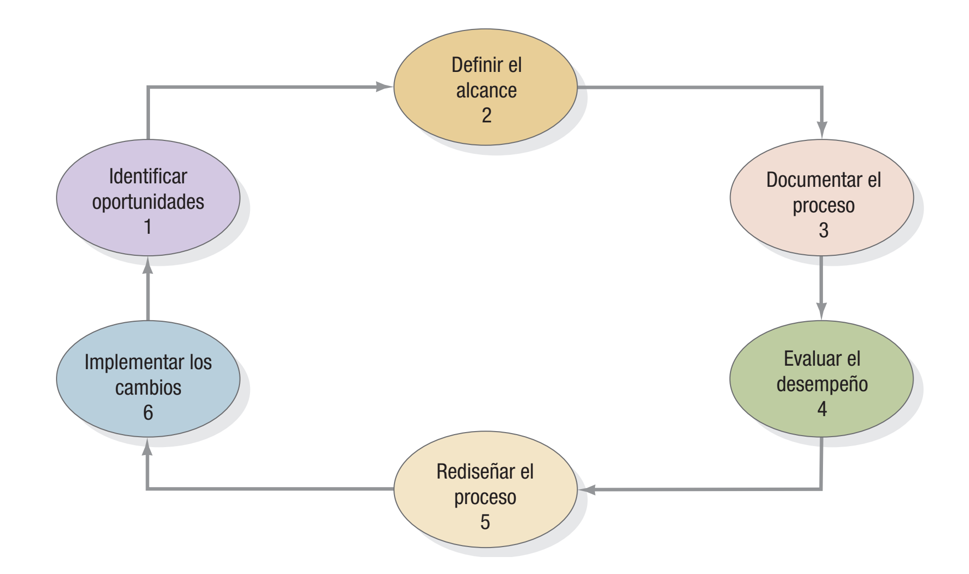


FIGURA 5.1
Diagrama del análisis de procesos

manera periódica, ya sea con un sistema de medición formal o por medio de revisiones informales o estudios. En ocasiones, los gerentes crean un inventario de sus procesos centrales y de apoyo que les sirve de guía respecto a los procesos que necesitan escrutinio.

Otra forma de identificar oportunidades consiste en estudiar los aspectos estratégicos. ¿Existen brechas entre las prioridades competitivas de un proceso y sus actuales capacidades competitivas? ¿Las distintas mediciones de costo, calidad superior, consistencia de la calidad, velocidad de entrega y entrega a tiempo, cumplen o superan las expectativas? ¿Existe un buen *ajuste estratégico* del proceso? Si el proceso proporciona un servicio, ¿la posición que ocupa en la matriz de contacto con el cliente (figura 4.3) parece apropiada? ¿Cómo concuerda el grado de contacto con el cliente con la estructura del proceso, participación del cliente, flexibilidad de recursos e intensidad de capital (figura 4.9)? Deben plantearse preguntas similares sobre los procesos de manufactura en relación con el ajuste estratégico entre la opción de proceso, volumen y personalización (figura 4.10).

Debe alentarse a los empleados que realizan el proceso o a los proveedores o clientes internos a que expresen sus ideas a los gerentes y personal especializados (como los ingenieros industriales), o quizá transmitirlas por medio de un sistema formal de sugerencias. Un **sistema de sugerencias** es un sistema voluntario mediante el cual los empleados envían sus ideas sobre mejoras de los procesos. Por lo general, un especialista evalúa las propuestas, se asegura de que se implementen las sugerencias valiosas y responde a quienes las hicieron. En ocasiones, la persona o equipo que presenta una buena sugerencia recibe un premio en dinero o un reconocimiento especial.

sistema de sugerencias
Sistema voluntario mediante el cual los empleados envían sus ideas sobre mejoras de los procesos.

PASO 2: DEFINIR EL ALCANCE

El paso 2 establece los límites del proceso que se analizará. ¿Se trata de un proceso general que abarca toda la organización y comprende muchos pasos y empleados, o es un subproceso anidado, definido de manera limitada, que sólo forma parte del trabajo de una persona? El alcance de un proceso puede ser muy amplio o muy limitado. Por ejemplo, un proceso definido en términos muy amplios, que sobrepasa los recursos disponibles, es demasiado ambicioso y está condenado al fracaso porque aumentará la frustración de los empleados sin producir ningún resultado.

Los recursos que la gerencia asigna para mejorar o reconvertir un proceso mediante reingeniería deben corresponder al alcance del proceso. Para un proceso anidado pequeño que sólo abarca a un empleado, tal vez se le pida al propio empleado que rediseñe el proceso. En el caso de un proyecto relacionado con uno de los principales procesos centrales, los gerentes típicamente establecen uno o más equipos. Un **equipo de diseño** consta de personas conocedoras y orientadas a los equipos, que trabajan en uno o más pasos del proceso, realizan el análisis del proceso y hacen los cambios necesarios. Otros recursos pueden ser los especialistas de tiempo completo, a quienes se les llama *facilitadores* internos o externos. Los facilitadores conocen la metodología del análisis de procesos y pueden guiar y capacitar al equipo de diseño. Si el proceso traspasa varias fronteras departamentales, se puede beneficiar de un *equipo de dirección* compuesto por varios gerentes de distintos departamentos, encabezado por un gerente de proyecto que supervisa el análisis respectivo.

equipo de diseño
Grupo de personas conocedoras y orientadas a los equipos, que trabajan en uno o más pasos del proceso, realizan el análisis del proceso y hacen los cambios necesarios.

PASO 3: DOCUMENTAR EL PROCESO

Una vez establecido el alcance, el analista debe documentar el proceso. La documentación incluye elaborar una lista de los insumos, proveedores (internos o externos), productos y clientes (internos o externos) del proceso. Esta información se puede representar después como un diagrama, con un desglose más detallado presentado en una tabla.

La siguiente parte de la documentación consiste en entender los diferentes pasos realizados en el proceso, usando uno o más de los diagramas, tablas y gráficos que se describen más adelante en este capítulo. Cuando el proceso se divide en pasos, el analista anota los grados y tipos de contacto con el cliente, complejidad y divergencia del proceso a lo largo de los diversos pasos del proceso. También anota qué pasos son visibles para el cliente y el punto en el proceso en que el trabajo se pasa de un departamento a otro.

PASO 4: EVALUAR EL DESEMPEÑO

Es importante contar con buenas mediciones del desempeño para evaluar un proceso y descubrir cómo mejorarlo. Un **sistema de medición** consta de mediciones del desempeño que se establecen para un proceso y los pasos que contienen. Un buen punto de partida lo constituyen las prioridades competitivas, pero tienen que ser específicas. El analista crea múltiples mediciones de cali-

sistema de medición
Mediciones del desempeño que se establecen para un proceso y los pasos que contienen.

dad, satisfacción del cliente, tiempo para realizar cada paso o todo el proceso, costo, errores, seguridad, mediciones ambientales, entrega a tiempo, flexibilidad y cosas por el estilo.

Después de identificar las mediciones, se procede a recabar la información sobre el desempeño actual del proceso con base en cada una de ellas. La medición puede ser tan sencilla como plantear una conjetura razonada, preguntar a una persona conocedora o tomar notas mientras se observa el proceso. Los estudios más extensos implican recopilar datos durante varias semanas, consultar datos contables sobre los costos o verificar los datos registrados en los sistemas de información. Además, las técnicas para analizar los tiempos de espera y los retrasos proporcionan información importante (véase el suplemento B, "Simulación" y el suplemento C, "Filas de espera"). Otras técnicas valiosas incluyen el muestreo del trabajo, los estudios de tiempo y el análisis de curvas de aprendizaje (véase el suplemento G, "Análisis de curvas de aprendizaje" y el suplemento H, "Medición de tasas de producción" en el CD-ROM del estudiante, en inglés). En la Práctica administrativa 5.1 se describe cómo McDonald's evalúa el desempeño para descubrir formas de mejorar los procesos y restablecer la satisfacción de los clientes.

PASO 5: REDISEÑO DEL PROCESO

Un análisis cuidadoso del proceso y su desempeño con base en las mediciones seleccionadas pone al descubierto las *desconexiones,* o brechas, entre el desempeño real y el deseado. Las causas de las brechas de desempeño pueden ser los pasos ilógicos, faltantes o superfluos, que pueden haber sido ocasionados por indicadores de medición que refuerzan la mentalidad aislacionista de cada departamento cuando el proceso abarca a varios de ellos. El analista o el equipo de diseño deben hurgar hasta el fondo para encontrar las causas originales de las brechas de desempeño.

Aplicando el pensamiento analítico y creativo, el equipo de diseño genera una larga lista de ideas sobre mejoras. En seguida, estas ideas se seleccionan y analizan. Las ideas que son justificables, en las que los beneficios superan los costos, se reflejan en un nuevo diseño del proceso. El nuevo diseño debe documentarse "como se propuso". Al combinar el nuevo diseño del proceso con la documentación del proceso actual, el analista se da una idea clara de la situación de antes y después. La nueva documentación debe dejar en claro cómo funcionará el proceso revisado y cuál será el desempeño esperado de conformidad con las distintas mediciones que se utilizaron.

PASO 6: IMPLEMENTAR LOS CAMBIOS

La implementación es más que trazar un plan y llevarlo a cabo. Muchos procesos se rediseñan eficazmente, pero jamás llegan a implementarse. La gente se resiste al cambio: "Siempre lo hemos hecho así", o "ya intentamos eso antes". La participación generalizada en el análisis de procesos es esencial, no sólo por el trabajo que supone, sino porque también crea compromiso. Es mucho más fácil implementar algo que en parte es idea propia. Además, es posible que se necesite pericia especializada, como para desarrollar software. Quizá se requieran también nuevos puestos y habilidades, lo que implica capacitación e inversiones en nueva tecnología. La implementación pone en marcha los pasos necesarios para poner en línea el proceso rediseñado. La gerencia o el comité de dirección deben aseguran que el proyecto de implementación marche de acuerdo con lo programado.

En lo que queda del capítulo, se examinarán detalladamente los pasos que comprende el análisis de procesos.

> DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO <

Hay tres técnicas eficaces para documentar y evaluar los procesos: (1) diagramas de flujo; (2) planos de servicio, y (3) gráficos de procesos, que permiten levantar la tapa y mirar al interior para ver cómo una organización realiza su trabajo. Se puede apreciar cómo opera un proceso, a cualquier nivel de detalle, y cómo se desempeña. Tratar de crear uno de estos gráficos puede incluso poner de manifiesto la falta de un proceso establecido. Tal vez no sea una bonita imagen, pero así es cómo se realiza efectivamente el trabajo. Las técnicas para documentar el proceso se prestan para encontrar brechas de desempeño, generar ideas sobre mejoras del proceso y documentar el aspecto de un proceso rediseñado.

DIAGRAMAS DE FLUJO

Un **diagrama de flujo** detalla el flujo de información, clientes, equipo o materiales a través de los distintos pasos de un proceso. Los diagramas de flujo también se conocen con los nombres de mapas de proceso, mapas de relaciones o planos. Los diagramas de flujo no tienen un formato preciso y por lo general se trazan con cuadros (que contienen una breve descripción del paso), y con líneas y flechas para indicar las secuencias. La forma rectangular (□) es la opción más común

diagrama de flujo
Un diagrama que detalla el flujo de información, clientes, equipo o materiales a través de los distintos pasos de un proceso.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 5.1 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO EN McDONALD'S

Con un crecimiento de las ventas del sistema que alcanzó la cifra de 41,500 millones de dólares en 2002, un aumento de 4.3% anual desde 1998, ¿por qué los ejecutivos iban a perder el sueño por unas cuantas quejas? Apenas el año anterior, McDonald's había lanzado una iniciativa, con duración de cinco años y un costo de 1000 millones de dólares, para reformar sus sistemas de información con el fin de mejorar la atención a clientes en sus más de 30,000 restaurantes en todo el mundo. Al igual que muchos sistemas de administración de relaciones con los clientes (CRM, del inglés *customer relationship management*), tenía el propósito de dar seguimiento y responder a los deseos cambiantes de la clientela. La nueva estructura de administración de datos, basada en Internet, cubriría todo, desde el software para dar seguimiento a los patrones de compra de los clientes hasta vínculos electrónicos con proveedores y sensores para monitorear la temperatura o la grasa en las cubas de papas fritas. La meta era examinar cuidadosamente todos los detalles de su negocio en tiempo real y garantizar que todos los locales afinaran sus operaciones para atender a los clientes impecablemente.

En realidad, McDonald's no necesitaba montañas de datos sobre las ventas cuando los clientes estaban molestos por la comida pésima, el servicio lento y los empleados malhumorados. McDonald's no se dio cuenta, hasta que era demasiado tarde, de que las quejas de los clientes se estaban volviendo más frecuentes y airadas. Hacerle pequeños ajustes a las recetas de productos básicos, como la salsa especial de la hamburguesa Big Mac, ahorraba centavos, pero decepcionaba a los partidarios leales de las Big Mac. Peor aún, McDonald's estaba abriendo establecimientos a gran velocidad, y cada nuevo local le quitaba ventas a los existentes. A pesar de que las ventas del sistema iban en aumento, las ventas brutas del restaurante típico cayeron 12%, a 1.6 millones de dólares, de 1995 a 2002.

McDonald's está volviendo a prestar atención a los clientes y ha cambiado sus procesos para reflejar este hecho. El consejo de administración designó un nuevo director general que había pasado 20 años en la parte operativa del negocio. En su afán de medir la satisfacción de los clientes y compartir los datos libremente con los operarios, el nuevo director logró una recuperación que sorprendió a todos en la industria por su velocidad y alcance. Un millón más de comensales acudieron en tropel a los establecimientos de los famosos arcos en 2003 que en 2002.

Esta recuperación se inició cuando se interrumpió la instalación del nuevo y masivo sistema de CRM. En cambio, se emprendieron otras iniciativas para recopilar mediciones de desempeño y modernizar los procesos de McDonald's para satisfacer las expectativas de los clientes. McDonald's envía compradores incógnitos a los restaurantes para que realicen revisiones anónimas usando un sistema de puntuación con cifras concretas. Los comensales sorpresa, de empresas de encuestas externas, anotan en una lista de verificación las calificaciones que otorgan a la velocidad del servicio; temperatura de la comida; presentación y sabor; limpieza del mostrador, mesas y bahías de condimentos; incluso si el empleado del mostrador sonríe a los comensales. Los resultados de los últimos 6 meses y del año a la fecha se publican en un sitio Web interno de McDonald's para que los propietarios puedan comparar sus calificaciones con los promedios regionales. Los operarios ahora pueden identificar con exactitud los problemas de retraso, y las mediciones del desempeño centran la atención de los operarios en los cambios necesarios en los procesos.



En lugar de un sistema CRM, McDonald's usa compradores sorpresa para evaluar sus restaurantes. También envía "emisarios" de operaciones a sus establecimientos para que ayuden a los gerentes a perfeccionar los procesos.

Otra iniciativa consistió en enviar 900 emisarios de operaciones al campo; cada uno visitó los restaurantes múltiples veces para perfeccionar los procesos e impartir seminarios de un día en los que los gerentes de los restaurantes podían compartir sugerencias de los gurúes de cocina corporativos (como dónde ubicar al personal) que podían ahorrar algunos segundos de los tiempos de atención en promedio. McDonald's restituyó los ingredientes más costosos en la salsa Big Mac y cambió los condimentos de sal y pimienta en las hamburguesas. En el proceso se volvió a hornear el pan en lugar de calentarlo en el horno de microondas y se alargó el tiempo de tostado en 6 segundos para darle al pan un sabor caramelizado más dulce.

Se están lanzando otras iniciativas por la vía rápida de McDonald's. Cada seis segundos que se quitan al tiempo de espera agregan un punto porcentual al crecimiento de las ventas. Los tableros exteriores con el menú ahora tienen más imágenes y menos palabras. Un exhibidor luminoso confirma lo que los clientes dicen, lo que reduce el número de confusiones posteriormente. Las hamburguesas de lujo se ponen en cajas en vez de envolverlas con papel, lo que ahorra algunos segundos, y las cajas están codificadas por color de acuerdo con la hamburguesa para mejorar la velocidad y precisión. Cuando se empiezan a formar filas largas de automóviles, un empleado sale, con una computadora de mano, a tomar los pedidos. Un pequeño número de restaurantes están poniendo a prueba otra mejora del proceso: usar profesionales con fuertes dotes de comunicación para tomar los pedidos, que se encuentran en centros remotos de atención para manejar los pedidos de los clientes en automóvil. Los pedidos se toman mejor y los empleados del restaurante de McDonald's pueden centrarse en ofrecer un mejor servicio al cliente.

Cuando los clientes dejaron de ir a McDonald's, ocurrió lo mismo con los inversionistas. Ahora que las ventas están en aumento, las acciones han recuperado su atractivo. A principios de 2005, el precio de la acción había aumentado a más del doble en dos años. La medición del desempeño y el mejoramiento de los procesos para incrementar el valor para los clientes tienen sus recompensas.

Fuentes: Daniel Kruger, "You Want Data with That?" *Forbes,* volumen 173, número 6 marzo de 2004, pp. 58–60; Darrell K. Rigby y Dianne Ledingham, "CRM Done Right," *Harvard Business Review,* volumen 82, número 11, noviembre de 2004, pp. 118–129; The Associated Press, "McDonald's Testing Use of Call Centers," 12 de marzo de 2005.

para un cuadro, aunque otras formas (○, ⬭, ⬭, ▽, o ▱) pueden diferenciar varios tipos de pasos (operación, retraso, almacenamiento, inspección y cosas por el estilo). Los colores y sombreados también pueden llamar la atención a diferentes tipos de pasos, como aquellos que tienen un grado especialmente alto de complejidad o de divergencia en el proceso. La divergencia también se

comunica cuando una flecha que sale de un paso se divide en dos o más flechas que conducen a diferentes cuadros. Aunque muchas representaciones resultan aceptables, debe existir un acuerdo sobre las convenciones utilizadas. Éstas pueden presentarse como una clave en alguna parte del diagrama de flujo, o describirse en texto acompañante. También es importante comunicar *qué* (información, pedido del cliente, cliente, materiales, o cosas por el estilo) se está detallando. Los diagramas de flujo se pueden crear con varios programas. Microsoft PowerPoint ofrece muchas opciones de formatos diferentes para diagramas de flujo (véase el submenú Diagramas de flujo, en el menú Autoformas). El "Tutor de diagramas de flujo en Excel" (véase el CD-ROM del estudiante, en inglés) ofrece otra opción. Otros paquetes de software potente para trazar diagramas de flujo y otro tipo de diagramas (como los organigramas y los árboles de decisión) son SmartDraw (www.smartdraw.com), Microsoft Visio (www.microsoft.com/office/visio), y Micrografx (www.micrografx.com). A menudo, se pueden descargar versiones de prueba gratis de estos sitios.

Un consultor analiza con los clientes la propuesta de un nuevo programa de desarrollo organizacional durante una reunión de seguimiento. El uso de diagramas de flujo ayuda a comprender que este paso es sólo una parte del proceso general de ventas de una empresa consultora.

Se pueden crear diagramas de flujo para varios niveles de la organización. Por ejemplo, en el nivel estratégico, los diagramas podrían mostrar los procesos centrales y sus relaciones, como en la figura 1.4. En este nivel, los diagramas de flujo no contienen mucho detalle; sin embargo, presentan una vista rápida y general de la empresa en su conjunto. El simple hecho de identificar un proceso central suele ser útil. Examinemos ahora el nivel de proceso, en el que entraremos en los

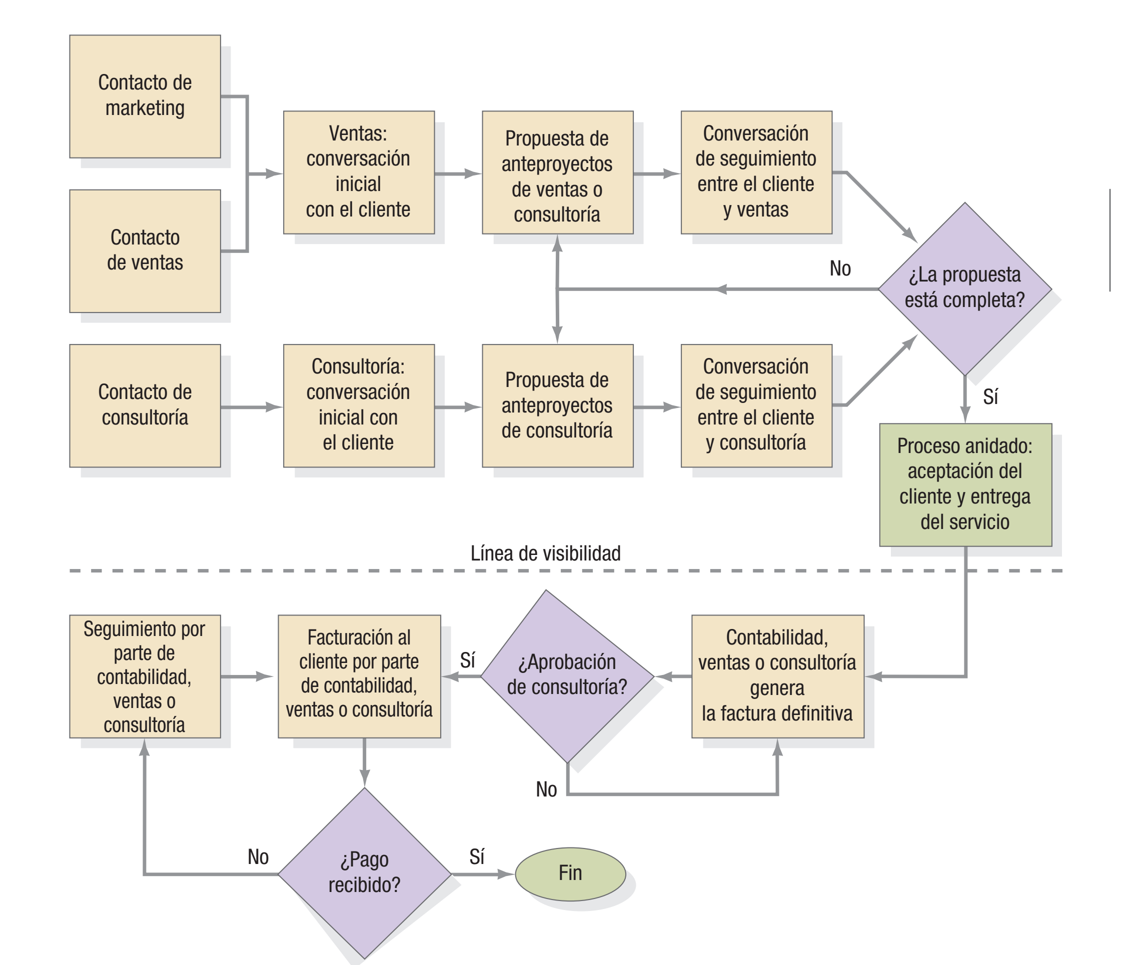
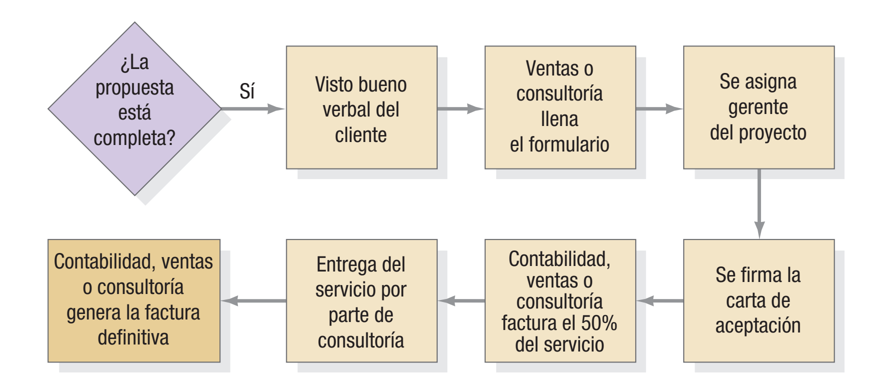


FIGURA 5.2

Diagrama de flujo del proceso de ventas de una empresa de consultoría

FIGURA 5.3

Diagrama de flujo de los subprocesos anidados de aceptación del cliente y entrega del servicio



detalles del proceso que se analizará. La figura 5.2 muestra dicho proceso, el cual consta de muchos pasos que tienen subprocesos anidado dentro de ellos. En lugar de representar todo en un diagrama de flujo, la figura 5.2 presenta una perspectiva general de todo el proceso. Describe el proceso de ventas en una empresa de consultoría que se especializa en desarrollo organizacional y programas educativos corporativos. Cuatro departamentos diferentes (contabilidad, consultoría, marketing y ventas) interactúan con el cliente externo (cliente). El proceso consta de tres etapas principales: generación de contactos de negocios, la aceptación del cliente y entrega del servicio, y facturación y cobro.

La figura 5.2 ilustra otra característica. La forma del rombo (◇) representa una decisión de sí o no o consecuencia, como los resultados de una inspección o el reconocimiento de diferentes tipos de necesidades del cliente. En la figura 5.2, representa tres puntos de decisión de sí o no: (1) si la propuesta está completa; (2) si consultoría aprueba la factura, y (3) si se recibe el pago. Estos puntos de decisión de sí o no aparecen más probablemente cuando el proceso tiene un alto grado de divergencia.

Los procesos anidados se crean en seguida para los pasos que son más agregados. Por ejemplo, el diagrama de flujo de la figura 5.3 muestra un proceso anidado dentro del paso de aceptación del cliente y entrega del servicio de la figura 5.2. En la figura 5.3 se aprecian más detalles, como el de facturar al cliente el 50% del costo total estimado del servicio antes de que éste se entregue y preparar la factura definitiva después de que el servicio quede terminado. Este método de anidamiento a menudo se convierte en una necesidad práctica porque el diagrama de flujo sólo puede llegar a mostrar cierto nivel de detalle.

La figura 5.4 muestra otro formato que resulta muy apropiado cuando el proceso abarca varios departamentos. Este diagrama de flujo ilustra el proceso de surtido de pedidos de una empresa manufacturera. El proceso comienza cuando un cliente genera un pedido y termina cuando la compañía recibe el pago. Todas las funciones que intervienen en este proceso se incluyen en el diagrama de flujo. Las filas representan los diferentes departamentos o áreas funcionales, y los pasos aparecen en la fila del departamento donde se realizan. Este método muestra la *transmisión* de control de un departamento a otro cuando la flecha que parte de un paso sigue en otra fila. Las flechas especiales son otra forma de mostrar las transmisiones. Las transmisiones de control son puntos donde la coordinación entre funciones corre más riesgo debido a la mentalidad aislacionista. En estos puntos hay más probabilidades de que se produzcan malos entendidos, retrasos y errores.

Los diagramas de flujo permiten al analista de procesos y a los gerentes ver la organización horizontal, en lugar de la organización vertical y las fronteras entre departamentos que muestra un organigrama típico. Los diagramas de flujo muestran cómo las organizaciones producen sus productos por medio de procesos de trabajo interfuncionales, y permiten al equipo de diseño ver todos los puntos de contacto críticos entre las funciones y los departamentos.

PLANOS DE SERVICIO

plano de servicio

Diagrama de flujo especial de un proceso de servicio que muestra los pasos donde existe un alto grado de contacto con el cliente.

Un buen diseño de un proceso de servicio depende ante todo del tipo y cantidad de contacto con el cliente. Un **plano de servicio** es un diagrama de flujo especial de un proceso de servicio que muestra los pasos donde existe un alto grado de contacto con el cliente. Considere de nuevo la figura 5.2. En realidad, podría considerarse un plano de servicio porque muestra una línea de visibilidad. Esta característica especial identifica los pasos que son visibles para el cliente (y, por tanto, se parece más a un proceso de mostrador) y los que no (proceso de trastienda).

Por supuesto, la visibilidad es sólo un aspecto del contacto con el cliente y tal vez no capte adecuadamente cuán activamente participa el cliente o cuánta atención personal requiere. En un plano de servicio se pueden usar colores, sombreados o formas de cuadros, en lugar de la línea de visibilidad, para mostrar el grado y tipo de contacto con el cliente. Otro método para trazar planos de servicio consiste en enumerar cada paso y después preparar una tabla acompañante que describa en detalle el contacto con el cliente para cada paso numerado.

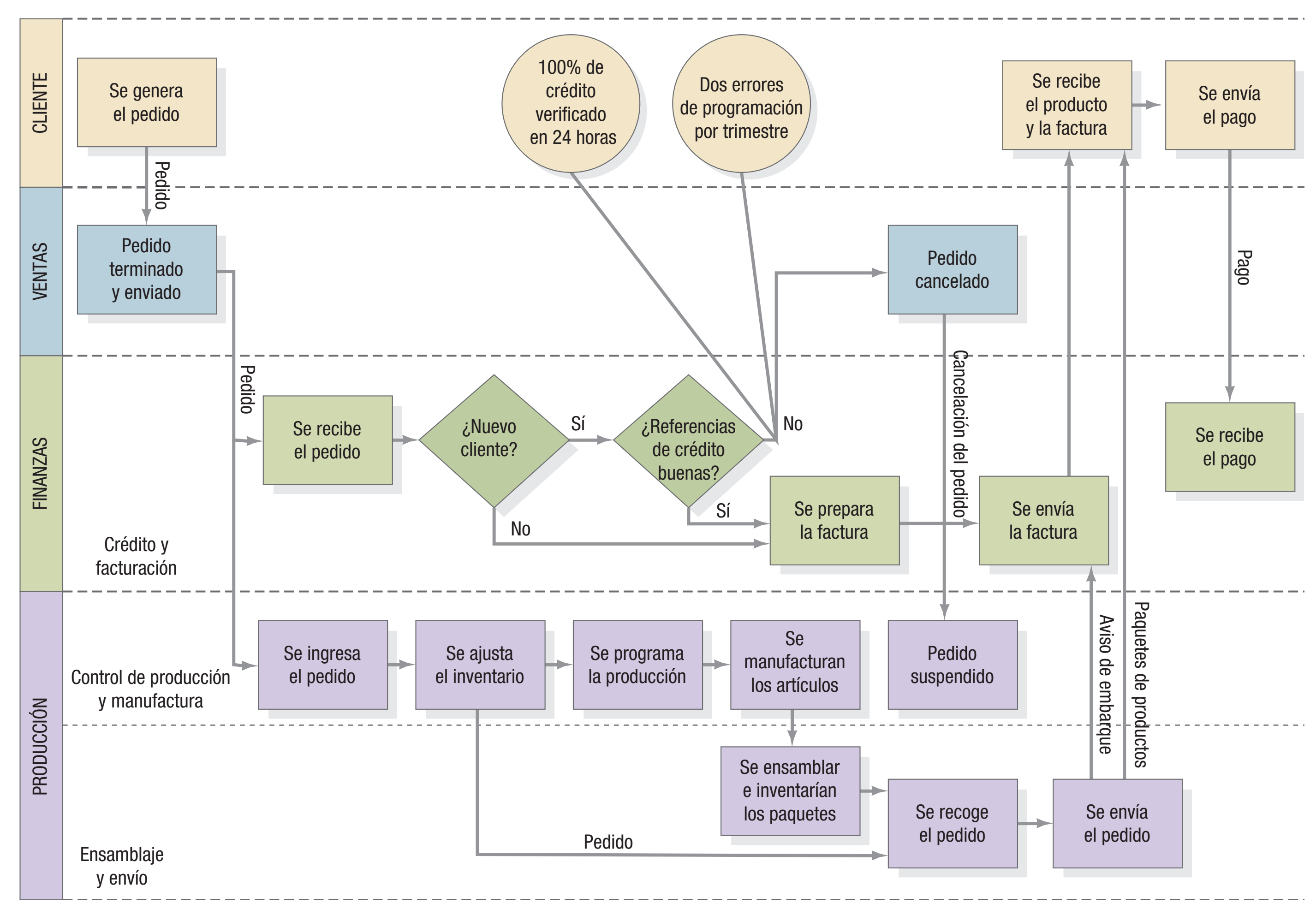


FIGURA 5.4 Diagrama de flujo del proceso de surtido de pedidos que muestra la transmisión de control entre departamentos

Fuente: Geary A. Rummler y Alan P. Brache, *Improving Performance*, 2ª ed., San Francisco: Jossey-Bass, 1995.

GRÁFICOS DE PROCESOS

Un **gráfico de proceso** es una forma organizada de documentar todas las actividades que realiza una persona o un grupo de personas en una estación de trabajo, con un cliente, o al trabajar con ciertos materiales. Analiza un proceso usando una tabla, y proporciona información acerca de cada paso del proceso. A menudo, se usa para examinar a fondo el nivel del trabajo de una persona en lo individual, un equipo o un proceso anidado enfocado. Puede tener muchos formatos. Aquí se han agrupado las actividades de un proceso típico en cinco categorías:

gráfico de proceso
Forma organizada de documentar todas las actividades que realiza una persona o un grupo de personas en una estación de trabajo, con un cliente, o al trabajar con materiales.

- *Operación*. Modifica, crea o agrega algo. Hacer una perforación con un taladro o atender a un cliente son dos ejemplos de operaciones.
- *Transporte*. Mueve el objeto de estudio de un lugar a otro (algunas veces se le llama *manejo de materiales*). El objeto de estudio puede ser una persona, un material, una herramienta o una parte de un equipo. Un cliente que camina de un extremo al otro de un mostrador, una grúa que levanta una viga de acero y la lleva hasta un sitio determinado, una banda transportadora que conduce un producto parcialmente terminado de una estación de trabajo a la siguiente, son ejemplos de transporte.
- *Inspección*. Revisa o verifica algo, pero sin hacerle cambios. Obtener opiniones de los clientes, revisar si hay manchas en una superficie, pesar un producto y efectuar una lectura de temperatura son ejemplos de inspecciones.
- *Retraso*. Se presenta cuando el objeto se queda detenido en espera de una acción posterior. El tiempo que pasa a la espera de un servidor, el tiempo que transcurre a la espera de materiales o equipo, el tiempo dedicado a la limpieza y el tiempo que los trabajadores, las máquinas o las estaciones de trabajo permanecen inactivos porque no tienen nada que hacer son ejemplos de retrasos.

- *Almacenamiento.* Ocurre cuando algo se guarda para usarse después. Algunos ejemplos de almacenaje pueden ser cuando se descargan los suministros y se colocan en un almacén como parte del inventario, cuando un equipo se pone en un lugar después de utilizarlo, y cuando los documentos se guardan en un archivero.

Es posible emplear otras categorías dependiendo de la situación. Por ejemplo, la subcontratación de servicios externos suele considerarse como una categoría, o bien, el almacenamiento temporal y el almacenamiento permanente pueden ser dos categorías diferentes. Para elegir la categoría que corresponde a cada actividad, es necesario tomar en cuenta la perspectiva del sujeto que se está representando en el gráfico. Lo que constituye un retraso para el equipo puede ser una actividad de inspección o transporte para el operador.

Para completar el gráfico correspondiente a un nuevo proceso, el analista debe identificar cada paso realizado. Si se trata de un proceso que ya existía, el analista observa cuidadosamente esos pasos, clasificando cada uno de ellos de acuerdo con el sujeto que se está estudiando. A continuación, registra la distancia recorrida y el tiempo que tarda la realización de cada paso. Después de haber registrado todas las actividades y pasos, el analista resume los datos sobre lo pasos, tiempos y distancias. La figura 5.5 muestra un gráfico de proceso que se preparó con el *solver* de gráficos de proceso de OM Explorer. Se trata del caso de un paciente que sufrió una torcedura de tobillo y fue atendido en un hospital. El proceso empieza en la entrada y termina cuando el paciente sale del local después de recoger los medicamentos.

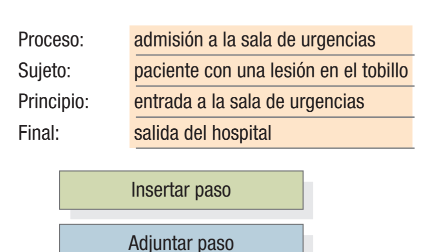
Después de trazar el gráfico de un proceso, el analista calcula a veces el costo anual de todo el proceso. Entonces, éste se convierte en un parámetro de referencia que se usará para evaluar por comparación otros métodos para realizar el proceso. Los costos anuales de mano de obra se calculan multiplicando (1) el tiempo (en horas) requerido para realizar el proceso cada vez; (2) los costos variables por hora, y (3) el número de veces que se lleva a cabo el proceso cada año, o sea,

$$\text{Costo anual de mano de obra} = \left(\begin{array}{c}\text{Tiempo para desarrollar}\\ \text{el proceso en horas}\end{array}\right)\left(\begin{array}{c}\text{Costos variables}\\ \text{por hora}\end{array}\right)\left(\begin{array}{c}\text{Número de veces que se}\\ \text{realiza el proceso al año}\end{array}\right)$$

Por ejemplo, si el tiempo promedio para atender a un cliente es de 4 horas, el costo variable es de \$25 por hora y se atienden 40 clientes al año, el costo de la mano de obra es de \$4000 por año (o 4 horas/cliente × \$25/hora × 40 clientes/año).

FIGURA 5.5

Gráfico del proceso de admisión a la sala de urgencias



Resumen

Actividad		Número de pasos	Tiempo (min.)	Distancia (pies)
Operación	●	5	23.00	
Transporte	➡	9	11.00	815
Inspección	■	2	8.00	
Retraso	◗	3	8.00	
Almacenamiento	▼	—	—	

Núm. de paso	Tiempo (min.)	Distancia (pies)	●	➡	■	◗	▼	Descripción del paso
1	0.50	15.0		X				Entrar a la sala de urgencias (SU), aproximarse a la ventanilla
2	10.00		X					Sentarse a llenar la historia clínica del paciente
3	0.75	40.0		X				La enfermera acompaña al paciente a la sala de evaluación de la SU
4	3.00				X			La enfermera examina la lesión
5	0.75	40.0		X				Regresar a la sala de espera
6	1.00					X		Esperar a que se desocupe una cama
7	1.00	60.0		X				Trasladarse hasta la cama de la SU
8	4.00					X		Esperar a que llegue el médico
9	5.00				X			El médico examina la lesión y le hace preguntas al paciente
10	2.00	200.0		X				La enfermera lleva al paciente a radiología
11	3.00		X					El técnico le toma una radiografía al paciente
12	2.00	200.0		X				Regresar a la cama asignada en la SU
13	3.00					X		Esperar a que el médico regrese
14	2.00		X					El médico comunica su diagnóstico y hace recomendaciones
15	1.00	60.0		X				Regresar al área de entrada del servicio de urgencias
16	4.00		X					Pagar la cuenta
17	2.00	180.0		X				Caminar hasta la farmacia
18	4.00		X					Recoger los medicamentos
19	1.00	20.0		X				Salir del edificio

En el caso del paciente de la figura 5.5, no sería necesario hacer esta conversión, porque con el tiempo total por paciente es suficiente. Lo que se está estudiando en este caso es el tiempo del paciente, y no el tiempo y los costos de los proveedores del servicio.

Diseñe sus propias hojas de cálculo para trazar gráficos de procesos que destaquen las cuestiones que revisten especial importancia para el proceso que está analizando, como las categorías de contacto con el cliente, la divergencia del proceso y cosas por el estilo. También puede seguir el desarrollo de las mediciones de desempeño, aparte del tiempo y la distancia recorrida, como los índices de error. Además, puede crear una versión diferente de la hoja de cálculo del gráfico que examine los procesos de manera muy similar a como se hace con los diagramas de flujo, salvo que ahora en la forma de una tabla. Las columnas que clasifican el tipo de actividad podrían sustituirse con una o más columnas que consignen diferentes indicadores de interés, en lugar de tratar de adaptarlas a un diagrama de flujo. Aunque tal vez no tenga un aspecto muy elegante, puede resultar igualmente informativo y más fácil de crear.

TUTOR 5.1

El tutor 5.1 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) contiene otro ejemplo para practicar la creación de gráficos de proceso.

> EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO <

Las mediciones y la información sobre el desempeño completan la documentación de un proceso (véase el paso 4 en la figura 5.1). Las mediciones pueden mostrarse de varias maneras. En ocasiones, se agregan directamente al diagrama de flujo o al gráfico de proceso. En la figura 5.4 las mediciones están representadas por las entradas dentro de los círculos. Éstas establecen las metas de verificación de crédito: (1) todas las verificaciones de crédito se realizan en 24 horas, y (2) no pueden darse más de dos casos en que el proceso continúe inadvertidamente sin la verificación de crédito. Cuando el número de mediciones se vuelve difícil de manejar, otra posibilidad consiste en crear una tabla auxiliar del gráfico. Las filas son los pasos en el diagrama de flujo, plano de servicio o gráficos de proceso. Las columnas son el desempeño actual, las metas y las brechas de desempeño en varios indicadores de medición.

Las mediciones específicas que elija el analista dependerán del proceso que se va a analizar y las prioridades competitivas. Son buenos puntos de partida el tiempo de procesamiento y el costo por unidad en cada paso, así como el tiempo transcurrido desde el principio hasta el final del proceso. La utilización de la capacidad y los tiempos de espera del cliente (o trabajo) revelan dónde es más probable que se presenten retrasos en el proceso. Las mediciones de satisfacción del cliente y los índices de errores y desperdicio identifican posibles problemas de calidad. Se presentan muchas de estas mediciones en los capítulos subsiguientes. La figura 5.6 muestra el capítulo o suplemento que se relaciona con algunas de estas mediciones básicas. Sólo cuando se comprendan estos capítulos posteriores, quedará realmente completa la exposición sobre el análisis de procesos.

HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

Las mediciones pueden poner de manifiesto una brecha en el desempeño. Hay varias herramientas a su disposición que le ayudarán a entender las causas del problema. Aquí se presentan seis de ellas: (1) listas de verificación; (2) histogramas y gráficos de barras; (3) gráficos de Pareto; (4) diagramas de dispersión; (5) diagramas de causa y efecto, y (6) gráficos. Muchas de estas herramientas se crearon con el propósito original de analizar problemas de calidad, pero aplican igualmente bien a toda la gama de mediciones de desempeño.

Listas de verificación La recolección de datos con ayuda de una lista de verificación suele ser el primer paso en el análisis de una medición. La **lista de verificación** es un formulario que se usa para registrar la frecuencia con que se presentan ciertas características del producto o servicio relacionadas con el desempeño. Es posible que dichas características se midan con base en una escala continua (por ejemplo, peso, satisfacción del cliente en una escala del 1 al 7, costo unitario, porcentaje de pérdidas por material desperdiciado, tiempo o longitud), o bien, por medio de un "sí" o un "no" (por ejemplo, queja del cliente, error de registro, decoloración de la pintura, o dependientes descorteses).

lista de verificación

Formulario que se usa para registrar la frecuencia con se presentan ciertas características del producto o servicio relacionadas con el desempeño.

Histogramas y gráficos de barras A menudo, los datos contenidos en una lista de verificación pueden presentarse clara y sucintamente en forma de histogramas o gráficos de barras. Un **histograma** resume los datos medidos sobre una escala continua, que muestra la distribución de frecuencia de alguna característica de la calidad (en términos estadísticos. la tendencia central y la dispersión de los datos). Con frecuencia, en el histograma se indica la media de los datos. Un **gráfico de barras** es una serie de barras que representan la frecuencia con la que se presentan las características de los datos que se miden por medio de un "sí" o un "no". La altura de la barra indica el número de veces que se observó una característica específica de la calidad.

histograma

Resumen de los datos medidos sobre una escala continua, que muestra la distribución de frecuencia de alguna característica de la calidad (en términos estadísticos, la tendencia central y la dispersión de los datos).

gráfico de barras

Serie de barras que representan la frecuencia con la que se presentan las características de los datos que se miden por medio de un "sí" o un "no".

Gráficos de Pareto Cuando los gerentes descubren varios problemas en el proceso que es necesario atacar, tienen que decidir cuál de ellos deberán atender primero. Vilfredo Pareto, un científico

RETO **ADMINISTRATIVO**

ANÁLISIS DE PROCESOS EN STARWOOD

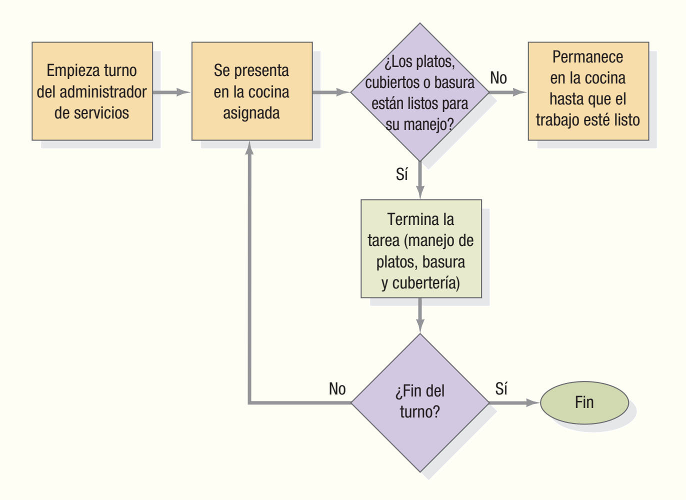


Las características y distribución del hotel The Phoenician, perteneciente a la cadena Starwood Hotels and Resorts, en Scottsdale, Arizona, se muestran a continuación. Starwood Hotels and Resorts no es una empresa ajena al mejoramiento de los procesos. De hecho, el presidente afirmó en una carta incluida en un informe anual reciente que gracias "… al *benchmarking*, los programas Six Sigma y el reconocimiento de la excelencia, [Starwood impulsa] los resultados en un ciclo virtual de automejoramiento en todos los niveles de la compañía". Reconociendo que los procesos mejorados en un departamento de un solo hotel, si se extienden a toda la organización, podrían producir mejoras significativas, la compañía creó hace poco un programa llamado "Poder de la Innovación", o POI (por sus siglas del inglés *Power of Innovation*).

El programa Poder de la Innovación en Starwood trata de captar las mejores prácticas que existen en los hoteles de todas las marcas en América del Norte. Un equipo interno, con experiencia en preparación y producción de cocina, lavandería, administración de servicios, recepción, mantenimiento y limpieza, trabaja con cada establecimiento en lo individual para aprovechar y potenciar el conocimiento existente de los equipos locales de administración de hoteles. Por lo general, el equipo pasa aproximadamente una semana en el establecimiento, enfrascado en las operaciones, para observar la actividad cotidiana a través de un periodo más o menos prolongado. De particular interés es la programación del personal para satisfacer la demanda de las operaciones individuales de cada hotel y, al mismo tiempo, hacer más eficientes los procesos de las operaciones.

En el Westin Galleria-Oaks de Houston, Texas, por ejemplo, el equipo de POI ayudó a la gerencia a lograr una mejora de 6% en la productividad del trabajo de preparación y producción de cocina, con una reducción de 2404 horas utilizadas y $23,320 de ahorros anuales solamente en la nómina. Al mismo tiempo, otros proyectos POI en el hotel generaron una suma adicional de $14,400 de ahorros anuales en la nómina.

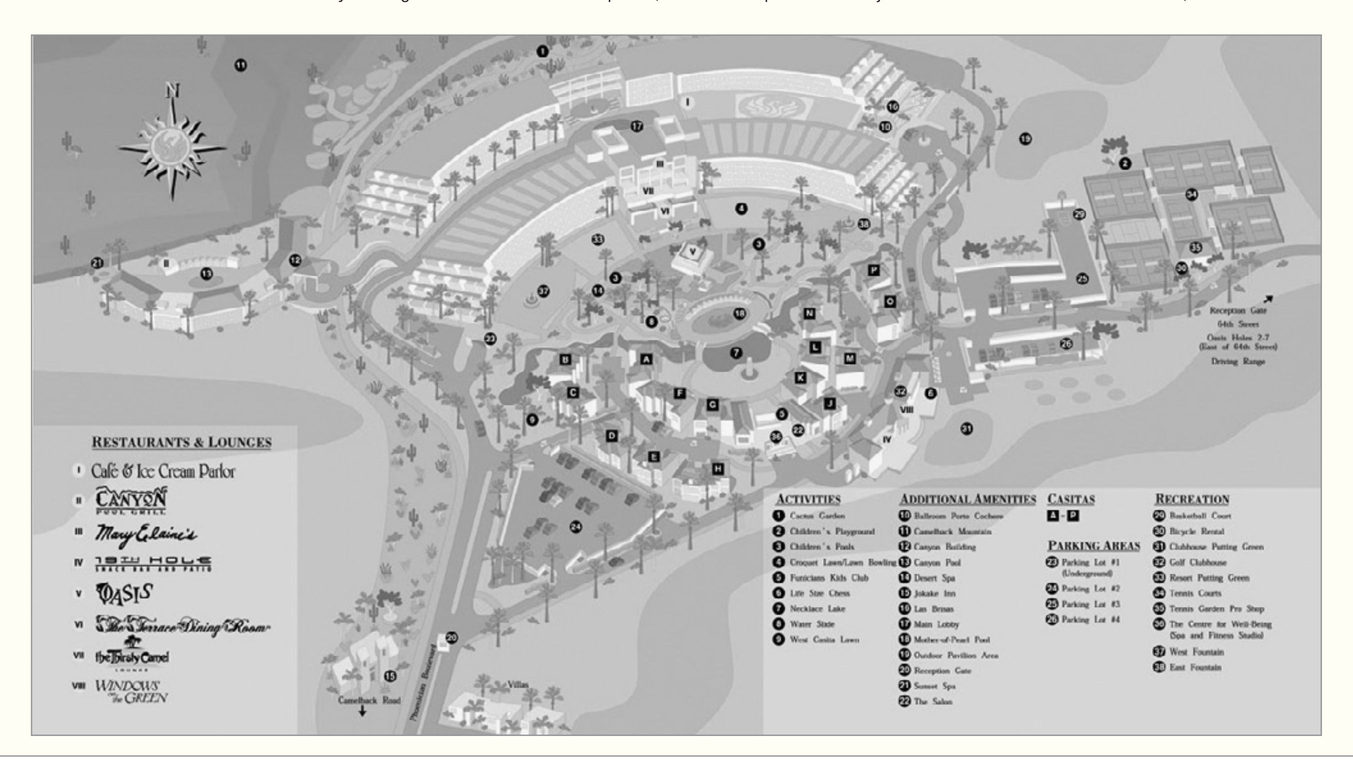
The Phoenician en Scottsdale también recibió una visita del equipo POI. Un área del equipo se centró en la administración de servicios. El proceso típico de administración de este servicio incluye las siguientes labores: lavar los platos,



sacar la basura de la cocina, pulir la cubertería y brindar asistencia a las líneas de preparación de alimentos para banquetes. Los administradores apoyan a ocho cocinas y dos panaderías, y trabajan con el área de mantenimiento y limpieza para conservar limpias las áreas públicas, como los baños y las piscinas.

Arriba se muestra un diagrama de flujo que muestra el proceso existente de administración de servicios que el equipo documentó. En un día determinado, un administrador específico puede brindar apoyo a más de una cocina y ser requerido para realizar una variedad de tareas.

Antes de que el equipo POI llegara, los administradores de servicios se dedicaban exclusivamente a una cocina o área en particular durante su turno. Cada cocina necesitaba asistencia de los administradores de servicios, según lo establecía el Chef Ejecutivo, de modo que era posible asignar a más un administrador a un área. El gerente de alimentos y bebidas podía pronosticar hasta cierto punto el trabajo de los administradores de servicios, con base en los



banquetes programados, tés vespertinos, bufés para conferencias y reservaciones en los restaurantes. Sin embargo, el tráfico generado por los paseantes y clientela local producía un grado considerable de incertidumbre, lo que implicaba que los administradores de servicios asignados periódicamente a ciertas áreas no tenían un flujo continuo de trabajo.

Semanalmente, los niveles de actividad del personal dedicado a la administración de servicios se determinaban con base en la información proporcionada por el Chef Ejecutivo. Otros factores que se tomaban en consideración en la planificación semanal incluían la actividad del año anterior, los eventos especiales, los días festivos y los niños. Con esta información, el administrador ejecutivo creaba un resumen de todas las comidas y cubiertos, por lugar, fecha y hora. A continuación, se usaba una plantilla de hoja de cálculo de Excel para crear el programa de utilización del personal en las cocinas y restaurantes del hotel.

Al realizar el análisis, el equipo POI examinó la disponibilidad del personal, los banquetes, restaurantes, salones ocupados y otros inductores de negocios en las áreas atendidas por los administradores. Se realizaron estudios de tiempos para determinar las distancias que los administradores recorrían en el hotel y cuánto tardaban en realizar cada tarea de administración. En algunos restaurantes y cocinas no se necesitaba contar con un administrador de tiempo completo, por lo que éste se asignaba a varias cocinas para llenar el turno de trabajo. En el caso de la cobertura entre el restaurante Hoyo 19 en un extremo del hotel y el Edificio Canyon en el otro extremo, el administrador caminaba 800 metros, sólo de ida, para ocuparse de los deberes en ambos lugares porque no había trabajo suficiente para justificar la presencia de un administrador dedicado en cada sitio.

A menudo, los administradores tenían tiempos de inactividad mientras esperaban a que se levantaran las mesas después de un banquete o a que se llevaran a lavar las ollas y utensilios de cocina. En algunos restaurantes había vajillas que tenían necesidades especiales de limpieza, lo que significaba que esos platos tenían que lavarse a mano en lugar de ponerse en una máquina lavaplatos automatizada y desinfectante. Esta situación requería un administrador dedicado para realizar esa tarea.

Los estudios de tiempo pusieron de manifiesto cuánto tardaban los administradores en ir de una cocina a la siguiente. Los estudios también ayudaron al equipo POI a entender cuánto tiempo se necesitaba para lavar los platos en el restaurante de 5 estrellas en comparación con la cocina del comedor informal al lado de la piscina. Además, los estudios descubrieron limitaciones en el diseño de los edificios y jardines que impedían que el personal fuera de una cocina a otra con rapidez. En algunos casos, un laberinto de corredores añadía kilómetros a las distancias recorridas todos los días, y los setos colocados como medida de privacidad impedían la entrada a los atajos de las aceras.

Retos administrativos para el programa Poder de la Innovación en Starwood

1. ¿Cómo puede la gerencia mejorar específicamente el proceso de administración de servicios en el hotel The Phoenician? Con la información proporcionada, cree un diagrama de flujo para ilustrar el nuevo proceso.
2. ¿Cuáles son los beneficios que el programa POI puede reportarle a Starwood? ¿Dichos beneficios pueden extenderse a los demás procesos y hoteles del sistema Starwood?
3. De los siete errores que las organizaciones pueden cometer al administrar los procesos (consulte la última sección de este capítulo), ¿cuáles son los que Starwood corre mayor riesgo de cometer? ¿Por qué?

FIGURA 5.6

Indicadores de medición para diagramas de flujo, gráficos de procesos y tablas acompañantes

Capítulo 6 Desempeño y calidad de los procesos

- Mediciones de satisfacción del cliente
- Índice de errores
- Índice de desperdicio o readaptación
- Costo interno de una falla

Capítulo 7 Administración de restricciones; Suplemento C, Filas de espera; Suplemento H, Medición de tasas de producción

- Tiempo de procesamiento
- Tiempo total de principio a fin (tasa de producción [tiempo])
- Tiempo de preparación
- Gastos de operación
- Utilización de la capacidad
- Tiempo promedio de espera
- Número promedio de clientes o trabajos en fila de espera

Capítulo 8 Distribución de los procesos

- Distancia recorrida
- Tiempo de ciclo
- Tiempo de inactividad

Capítulo 9 Sistemas esbeltos

- Tiempo de preparación
- Tiempo promedio de espera
- Tiempo total de principio a fin (tasa de producción [tiempo])

italiano del siglo diecinueve cuyo trabajo estadístico se centró en las desigualdades presentes en los datos, planteó que la mayor parte de una "actividad" tiene como causa un número relativamente pequeño de los factores que la componen. En el caso de un problema de calidad en un restaurante, la actividad podría estar constituida por las quejas de los clientes y el factor causal podría ser "un camarero desatento". En el caso de un fabricante, la actividad en cuestión podría ser los defectos que presenta el producto y el factor, "una parte faltante". El concepto de Pareto, conocido

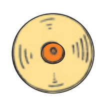
como la regla 80-20, sostiene que el 80% de la actividad es causada por el 20% de los factores. Con sólo concentrarse en el 20% de los factores (los "pocos factores vitales"), los gerentes pueden atacar el 80% de los problemas de los problemas de calidad. Por supuesto, los porcentajes exactos varían dependiendo de cada situación, pero es inevitable que un número relativamente pequeño de factores ocasione la mayoría de los escollos en el desempeño.

gráfico de Pareto

Gráfico de barras en el que los factores están representados a lo largo del eje horizontal, por orden decreciente de frecuencia.

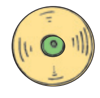
Esos pocos factores vitales pueden identificarse por medio de un **gráfico de Pareto**, es decir, un gráfico de barras en el que los factures están representados a lo largo del eje horizontal, por orden decreciente de frecuencia (figura 5.8). El gráfico tiene dos ejes verticales, uno a la izquierda que ilustra la frecuencia (igual que en un histograma) y el otro a la derecha, que muestra el porcentaje acumulativo de dicha frecuencia. La curva de frecuencia acumulativa identifica los pocos factores vitales que requieren la atención inmediata de la gerencia.

EJEMPLO 5.1 Gráfico de Pareto para un restaurante



MODELO ACTIVO 5.1

El modelo activo 5.1 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) contiene explicaciones adiciones sobre este ejemplo del gráfico de Pareto y sus extensiones.



TUTOR 5.2

El tutor 5.2 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) contiene otro ejemplo de cómo crear gráficos de Pareto.

El gerente de un restaurante de barrio está preocupado porque cada vez llegan menos clientes al local. Las quejas han ido en aumento y a él le gustaría averiguar qué problemas debe atacar y presentar sus conclusiones de manera que los empleados comprendan.

SOLUCIÓN

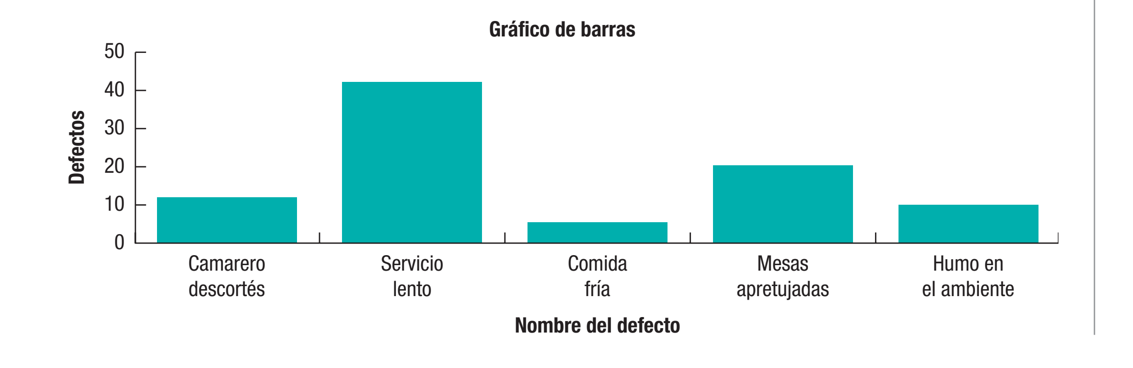
El gerente realizó una encuesta entre sus clientes a lo largo de varias semanas y recabó los siguientes datos:

Queja	Frecuencia
Camarero descortés	12
Servicio lento	42
Comida fría	5
Mesas apretujadas	20
Humo en el ambiente	10

La figura 5.7 es un gráfico de barras y la figura 5.8 es un gráfico de Pareto, ambos creados con el *solver* de gráficos de barras, Pareto y líneas de OM Explorer. Presentan los datos de tal modo que muestran qué quejas son más frecuentes (los pocos factores vitales). Estos gráficos se prepararon para una medición de calidad, pero usted puede cambiar el formato para efectuar otra medición de "sí o no". Sólo haga clic en "desproteger hoja" en el menú Herramientas de la hoja de cálculo y haga las revisiones pertinentes. Otro método consiste en crear las hojas de cálculo desde el principio. Hay software más avanzado, con interfaces para "apuntar y hacer clic", como Minitab (www.minitab.com/index.htm), SAS (www.sas.com/rnd/app/qc.html) y Microsoft Visio (www.microsoft.com/office/visio).

FIGURA 5.7

Gráfico de barras



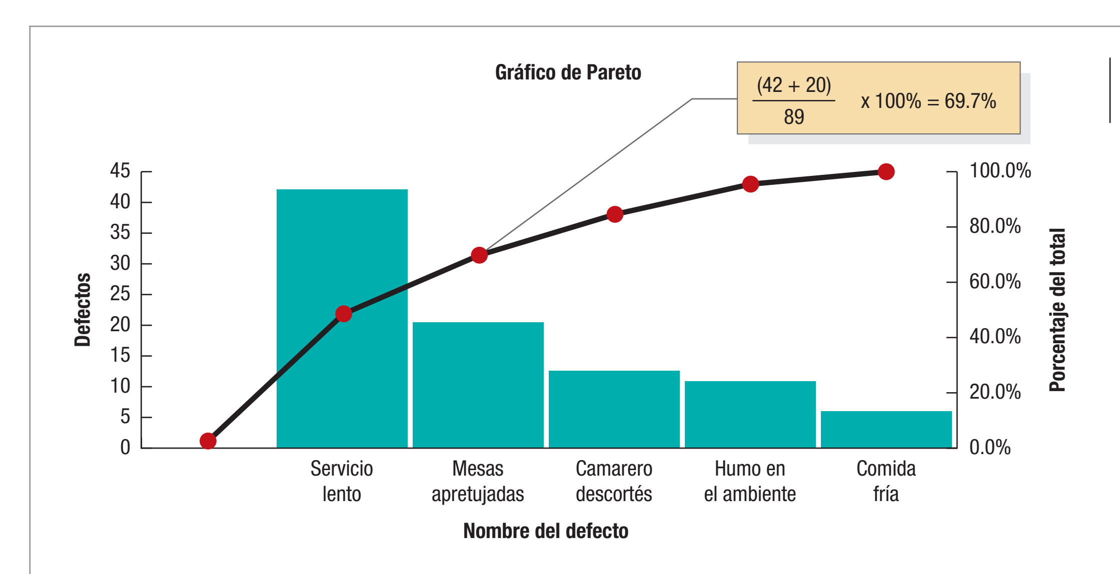


FIGURA 5.8

Gráfico de Pareto

Punto de decisión Al gerente le quedó muy claro (al igual que a todos los empleados) cuáles eran las quejas que, si se rectificaban, resolverían la mayoría de los problemas de calidad del restaurante. Primero, el servicio lento se solucionaría capacitando al personal existente, agregando otro camarero y mejorando el proceso de preparación de los alimentos. Para solucionar el problema de las mesas apretujadas, se quitarían algunos muebles decorativos del área del comedor y se espaciarían más las mesas. El gráfico de Pareto muestra que si se corrigen estos dos problemas, se acabará con casi 70% de las quejas.

Diagramas de dispersión Algunas veces los gerentes sospechan que cierto factor es la causa de un problema de calidad en particular. Un **diagrama de dispersión**, que es una representación gráfica de dos variables que muestra si éstas se relacionan entre sí, puede usarse para confirmar o descartar esa sospecha. Cada punto del diagrama de dispersión representa la observación de datos. Por ejemplo, el gerente de un taller de fundición sospecha que los defectos de las piezas fundidas son una función del diámetro del molde. Podría construir un diagrama de dispersión que representara gráficamente el número de piezas fundidas defectuosas que corresponden a cada diámetro de moldeo producido. Una vez terminado el diagrama, sería posible observar con toda claridad cualquier relación entre el diámetro y el número de defectos.

diagrama de dispersión
Representación gráfica de dos variables que muestra si éstas se relacionan entre sí.

Diagramas de causa y efecto Un aspecto importante del análisis de procesos consiste en vincular cada medición con los insumos, métodos y pasos del proceso que incorporan en el servicio o producto un atributo en particular. Una forma de identificar un problema de diseño consiste en crear un **diagrama de causa y efecto**, que relaciona un problema clave de desempeño con sus posibles causas. Desarrollado originalmente por Kaoru Ishikawa, este tipo de diagrama ayuda a la gerencia establecer una relación directa entre las desconexiones y las operaciones donde éstas se originan. Las operaciones que no tienen relación alguna con un problema en particular no aparecen en el diagrama.

diagrama de causa y efecto
Diagrama que relaciona un problema clave de desempeño con sus posibles causas.

El diagrama de causa y efecto se conoce a veces como *diagrama de espina de pescado*. La principal brecha de desempeño se rotula como la "cabeza" del pescado; las categorías más importantes de las posibles causas se representan como las "espinas" estructurales; y las causas probables específicas aparecen como las "espinas menores". Al elaborar y utilizar un diagrama de causa y efecto, el analista identifica todas las categorías importantes de las posibles causas del problema. Podrían ser, por ejemplo, aquellas que se refieren al personal, las máquinas, los materiales y los procesos. Para cada categoría importante, el analista elabora una lista de todas las causas probables del problema de la brecha de desempeño. Por ejemplo, bajo el rubro denominado "personal", podría escribir "falta de capacitación", "mala comunicación" y "ausentismo". El pensamiento creativo ayuda al analista a identificar y clasificar correctamente todas las presuntas causas. A continuación, el analista investiga de modo sistemático las causas anotadas en cada categoría importante del diagrama y lo va actualizando a medida que se van evidenciando nuevas causas. El proceso de construir un diagrama de causa y efecto obliga a los gerentes y trabajadores a concentrar su atención en los principales factores que afectan calidad del producto o servicio. En el ejemplo 5.2 se demuestra el uso de un diagrama de causa y efecto en una aerolínea.

EJEMPLO 5.2 Análisis de retrasos en la salida de los vuelos

El gerente de operaciones de Checker Board Airlines, en el Aeropuerto Internacional de Port Columbus, observó un incremento en el número de retrasos en la salida de sus vuelos.

SOLUCIÓN

A fin de analizar todas las causas posibles de ese problema, creó el diagrama de causa y efecto que aparece en la figura 5.9. El problema principal, es decir, el retraso en la salida de los vuelos, aparece como la "cabeza" del diagrama. El gerente reunió a su personal y, juntos, trataron de pensar en todas las causas posibles de esa situación. De esta manera, lograron identificar varias categorías importantes: equipo, personal, materiales, procedimientos y "otros factores" que están fuera del control de la gerencia. Además, dentro de cada categoría importante se identificaron varias presuntas causas.

Punto de decisión En virtud de que el gerente de operaciones entiende bien el proceso, sospechó que la mayoría de los retrasos observados en la salida de los vuelos se debían a problemas relacionados con los materiales. En consecuencia, propuso que se examinaran las operaciones de servicio de alimentos, carga de combustible y manejo de equipaje. Eso le permitió averiguar que no había suficientes remolques para las operaciones de transferencia de equipaje, y que los aviones se retrasaban porque tenían que esperar el equipaje de los pasajeros de vuelos de conexión.

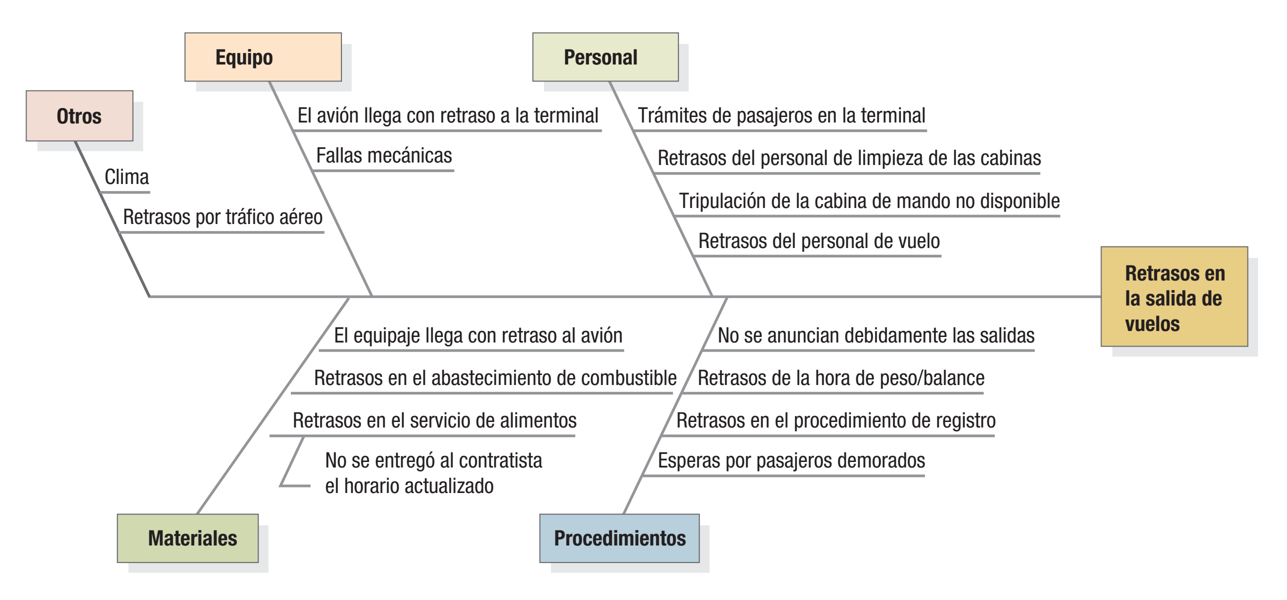


FIGURA 5.9 Diagrama de causa y efecto para los retrasos en la salida de vuelos

Fuente: Adaptado de D. Daryl Wyckoff, "New Tools for Achieving Service Quality," *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly,* noviembre de 1984), p. 89. © 1984 Cornell H.R.A. Quarterly. Se reproduce con autorización. Reservados todos los derechos.

gráficos

Representaciones de datos en diversos formatos visuales, como los gráficos de líneas y los gráficos circulares.

Gráficos Los **gráficos** representan los datos en diversos formatos visuales, como los gráficos de línea y los gráficos circulares. Los *gráficos de línea* representan los datos en secuencia, como puntos conectados por segmentos de líneas, para destacar las tendencias de los datos. Los gráficos de línea se usan en los gráficos de control (véase el capítulo 6, "Desempeño y calidad de los procesos") y en los pronósticos (véase el capítulo 13, "Pronósticos"). Los gráficos circulares representan factores de los procesos en forma de rebanadas de un pastel; el tamaño de cada rebanada es proporcional al número de veces que se presenta el factor. Los gráficos circulares son útiles para mostrar datos procedentes de un grupo de factores que pueden representarse como porcentajes cuya suma total es 100 por ciento.

SELECCIÓN DE DATOS

Cada una de las herramientas para el mejoramiento de la calidad puede usarse en forma independiente, pero su potencia es mayor cuando se usan en conjunto. Para resolver un problema relacionado con un proceso, los gerentes tienen que actuar a menudo como detectives, seleccionando

datos para aclarar las cuestiones que están en juego y deducir las causas. Este proceso se conoce como *selección de datos*. El ejemplo 5.3 muestra cómo se pueden usar las herramientas de mejoramiento de la calidad para la selección de datos.

Identificación de las causas de la mala calidad en forros para techos de automóviles

EJEMPLO 5.3

La Wellington Fiber Board Company fabrica forros para techos de automóviles, que son los componentes de fibra de vidrio que forman la parte interna del techo de los autos de pasajeros. La gerencia quiso identificar los defectos más comunes y encontrar la causa de éstos.

SOLUCIÓN

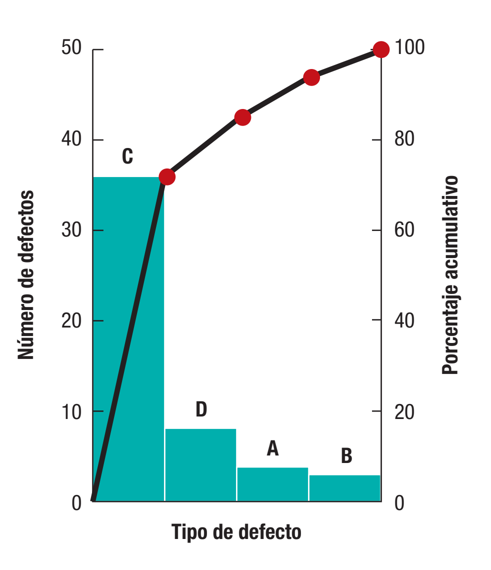
La figura 5.10 muestra la aplicación secuencial de varias herramientas para mejorar la calidad.

Paso 1. Lista de verificación

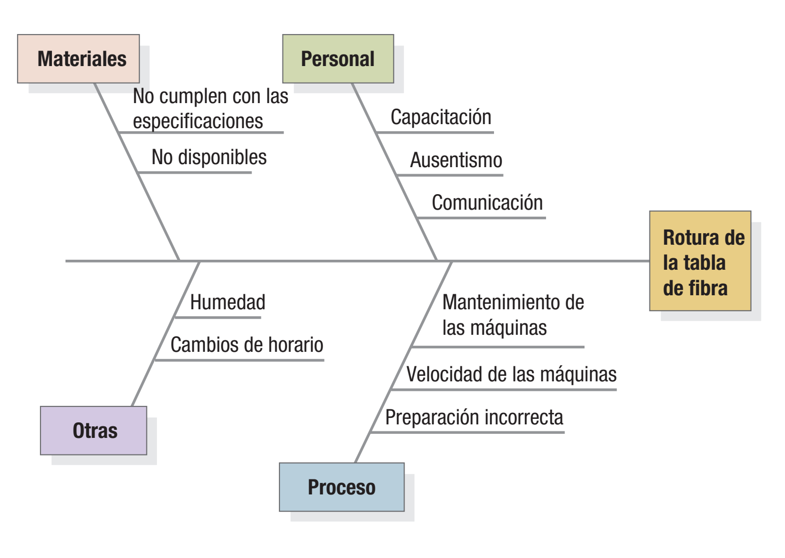
Defectos del forro para techos

Tipo de defecto	Recuento	Total
A. Rasgaduras de la tela	IIII	4
B. Decoloración de la tela	III	3
C. Rotura de la tabla de fibra	~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ ~~IIII~~ I	36
D. Bordes deshilachados	~~IIII~~ II	7
		Total 50

Paso 2. Gráfico de Pareto



Paso 3. Diagrama de causa y efecto



Paso 4. Gráfico de barras

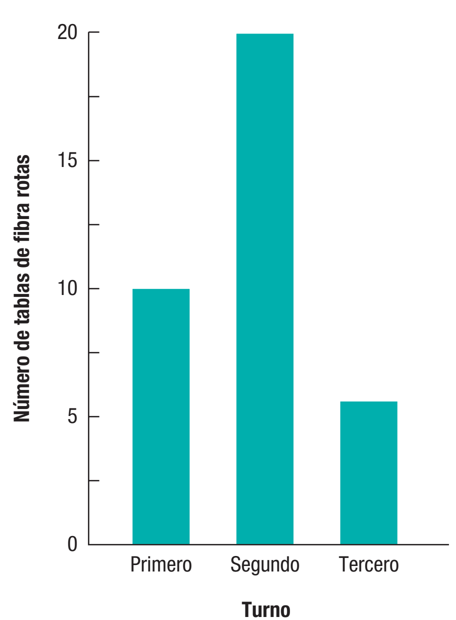


FIGURA 5.10 | Aplicación de las herramientas para mejorar la calidad

Paso 1: A partir de los registros de producción del mes anterior, se elaboró una lista de verificación con diferentes tipos de defectos.

Paso 2: Un gráfico de Pareto, elaborado con los datos de la lista de verificación, indicó que las roturas en las tablas de fibra representaban 72% de los defectos de calidad.

Paso 3: Un diagrama de causa y efecto, para representar las roturas de las tablas de fibra, permitió identificar varias causas posibles del problema. La que pareció más sospechosa a la gerente fue la insuficiente capacitación de los empleados.

Paso 4: La gerente reorganizó los informes de producción en un gráfico de barras de acuerdo con el turno de trabajo, ya que el personal de cada uno de los tres turnos tenía diferentes grados de experiencia.

Punto de decisión El gráfico de barras indicó que la mayoría de los defectos se presentaban en el segundo turno, en el cual trabajaba el personal que tenía menos experiencia. Una investigación ulterior reveló que los trabajadores no aplicaban los procedimientos apropiados para apilar las tablas de fibra al finalizar la operación de prensado, lo cual ocasionaba la formación de muchas grietas y astillas. La gerente organizó sesiones adicionales de capacitación que se centraron en el manejo de las tablas. Aunque el segundo turno no era responsable de todos los defectos, al localizar el origen de muchos de ellos, la gerente logró mejorar la calidad de sus operaciones.

SIMULACIÓN

simulación de procesos

El acto de reproducir el comportamiento de un proceso, usando un modelo que describe cada uno de los pasos.

Un modelo de simulación va un paso más allá que las herramientas de análisis de datos porque muestra cómo el proceso cambia dinámicamente a través del tiempo. La **simulación de procesos** es el acto de reproducir el comportamiento de un proceso, usando un modelo que describe cada uno de los pasos. Una vez que se ha desarrollado el modelo del proceso, el analista puede realizar cambios en éste para medir el impacto de ciertos indicadores, como el tiempo de respuesta, las filas de espera, la utilización de los recursos y otras cosas por el estilo. Para aprender más acerca de cómo funciona la simulación, consulte el suplemento B, "Simulación", que se presenta después de este capítulo. Existen paquetes de software que ofrecen capacidades más avanzadas, como SimQuick (www.nd.edu/~dhartvig/simquick/top.htm), software Extend (www.imaginethatinc.com), SIMPROCESS (www.caciasl.com), ProModel (www.promodel.com) y Witness (www.lanner.com/corporate).

Aquí se ilustra una simulación de proceso elaborada con el software SimQuick (que se incluye en el CD-ROM del estudiante, en inglés). Considere el siguiente proceso dentro de un banco pequeño: los clientes entran al banco, se forman en una sola fila, los atiende un cajero y, por último, salen del banco. En la actualidad, este banco cuenta con un cajero que trabaja de las 9 a las 11 de la mañana. A la gerencia le preocupa que los clientes pasen demasiado tiempo esperando en la fila. Por lo tanto, está pensando en implementar dos ideas para mejorar el proceso: agregar otro cajero en ese horario o instalar una nueva máquina lectora de cheques que ayude al único cajero a atender a los clientes con mayor rapidez.

El primer paso en SimQuick consiste en trazar un diagrama de flujo del proceso usando los componentes básicos de SimQuick. La figura 5.11(a) muestra que el banco con un cajero (tanto el original como la variación con una máquina lectora de cheques) puede modelarse con cuatro componentes básicos: una entrada (modelo de la llegada de los clientes al banco), una barrera (modelo de la fila de espera), una estación de trabajo (modelo del cajero) y una última barrera (modelo de los clientes atendidos). El modelo de la variación con dos cajeros se puede construir con cinco componentes básicos, como se ilustra en la figura 5.11(b).

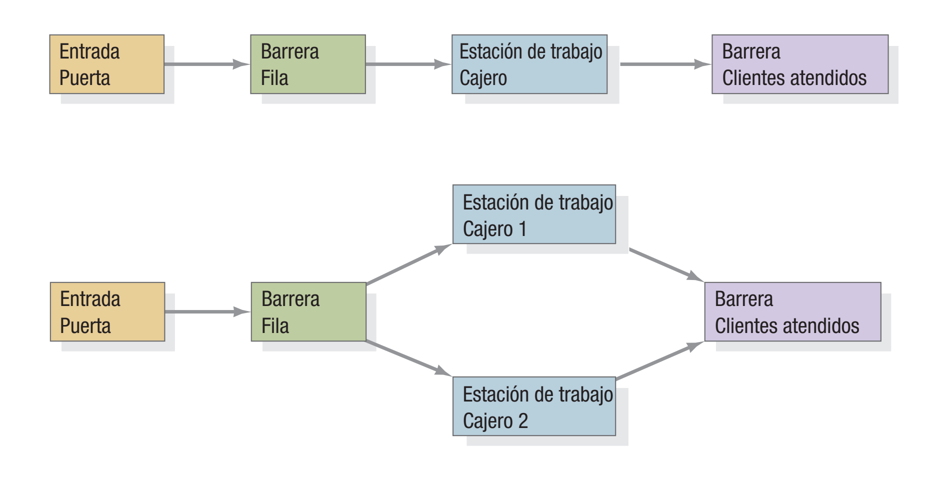


FIGURA 5.11(a)

Diagrama de flujo de un banco

Diagrama de flujo de un banco con un cajero

FIGURA 5.11(b)

Diagrama de flujo de un banco con dos cajeros

Tipos de elementos	Nombres de los elementos	Estadísticas	Media general
Entrada(s)	Puerta	Nivel de servicio	0.90
Barrera(s)	Fila	Inventario medio	4.47
		Tiempo medio de ciclo	11.04

FIGURA 5.12

Resultados de la simulación de un banco

La información que describe cada componente se introduce en las tablas SimQuick. Es necesario introducir tres datos clave: cuándo llega la gente a la puerta, cuánto tiempo tarda el cajero en atender a un cliente y la máxima longitud de la fila. Los primeros dos datos se describen por distribuciones estadísticas. Cada uno de los tres modelos se ejecuta 30 veces, simulando el horario de 9 a 11 de la mañana. SimQuick recopila las estadísticas y las resume. La figura 5.12 muestra los resultados más importantes del modelo del proceso original con un cajero, obtenidos con SimQuick (se recopilan muchas otras estadísticas, pero no se muestran aquí).

Las cifras que se presentan en la figura 5.12 son promedios obtenidos de 30 simulaciones. El nivel de servicio para "puerta" indica que 90% de los clientes simulados que llegaron al banco pudieron formarse en la "fila" (de ahí que 10% hayan encontrado la fila muy larga y se hayan marchado de inmediato). El inventario medio de "fila" indica que, en promedio, 4.47 clientes simulados estaban formados en la fila. El tiempo medio de ciclo indica que los clientes simulados esperaron en promedio 11.04 minutos en la fila.

Cuando el modelo se ejecuta con dos cajeros, se obtiene que el nivel de servicio aumenta a 100%, el inventario medio en fila disminuye a 0.37 clientes y el tiempo medio de ciclo se reduce a 0.71 minutos. Todas estas cifras representan mejoras espectaculares. Cuando se ejecuta el modelo de un cajero con la veloz máquina lectora de cheques, se obtiene que el nivel de servicio es de 97%, el inventario medio en fila es de 2.89 clientes y el tiempo medio de ciclo es de 6.21 minutos. Estas estadísticas, junto con la información de costos, ayudan a la gerencia a seleccionar el mejor proceso. Todos los detalles de este modelo (así como de muchos otros) aparecen en el libro *SimQuick: Process Simulation with Excel,* que se incluye, junto con el software SimQuick, en el CD-ROM del estudiante que viene con este texto (en inglés).

> REDISEÑO DEL PROCESO <

Un médico identifica una enfermedad después de practicarle un examen minucioso al paciente y, en seguida, recomienda el tratamiento a seguir con base en el diagnóstico; ocurre lo mismo con los procesos. Después de documentar el proceso, recopilar los datos de medición e identificar las desconexiones, el analista del proceso o el equipo de diseño implantan una serie de cambios que mejorará el proceso. En este paso, se convoca al personal que participa directamente en el proceso para que aporte ideas y sugerencias.

La Práctica administrativa 5.2 describe cómo varias personas en un hospital se reunieron para mejorar los procesos y evitar la necesidad de agregar capacidad costosa.

GENERACIÓN DE IDEAS POR MEDIO DE PREGUNTAS Y SESIONES DE LLUVIA DE IDEAS

En ocasiones, las ideas para aplicar reingeniería a un proceso o para mejorarlo se hacen evidentes después de documentarlo y examinar detenidamente las áreas de desempeño subestándar, las transmisiones de control entre departamentos y los pasos donde el contacto con el cliente es alto. El ejemplo 5.3 ilustra cómo dicha documentación condujo a una mejor manera de manejar las tablas de fibra mediante más capacitación. En otros casos, la mejor solución es menos obvia. Se pueden descubrir ideas (porque siempre hay una manera mejor) si se plantean seis preguntas sobre cada paso del proceso y sobre el proceso en su conjunto.

1. *¿Qué* se está haciendo?
2. *¿Cuándo* se hace?
3. *¿Quién* lo hace?
4. *¿Dónde* se hace?
5. *¿Cómo* se hace?
6. *¿Cómo se compara* con las distintas mediciones importantes?

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 5.2 REDISEÑO DE PROCESOS EN EL BAPTIST MEMORIAL HOSPITAL

El Baptist Memorial Hospital-Memphis, institución distintiva del sistema Baptist Memorial Health Care, es un hospital de cuidados terciarios que cuenta con 706 camas. Tenía un problema de capacidad, o al menos eso parecía, y la ocupación superaba rutinariamente el 90%. Los esfuerzos por mejorar los procesos durante más de cinco años condujeron a la centralización de la asignación de las camas y a la instalación de un nuevo sistema de control de camas que proporciona información en tiempo real. Estas mejoras redujeron el tiempo de rotación (TAT, del inglés *turnaround time*) de la asignación de camas, pero la demanda continuó rebasando la capacidad. En marzo de 2002, los hospitales de Memphis desviaban a las ambulancias en promedio el 70% de las veces. Los servicios de ambulancias se agotaban todos los días y el personal de éstas esperaba hasta 90 minutos en los departamentos de urgencias (DU) de la localidad. El liderazgo de hospitales de Memphis y el Emergency Medical Service Council decidieron eliminar las desviaciones y permitieron, en cambio, que los pacientes fueran al hospital de su preferencia. Este cambio solucionó la crisis de las ambulancias, pero la verdadera crisis se relacionaba con el flujo de pacientes que acudía a los DU.



Uno de los factores más importantes para mejorar la atención a los pacientes reside en el establecimiento de reuniones informales donde asistan el supervisor del hospital, el supervisor de mantenimiento y las principales enfermeras a cargo para mejorar la planificación del flujo de camas y proporcionar más información a todos los interesados.

La administración, enfermeras y médicos adoptaron la filosofía de tolerancia cero a los cuellos de botella y los obstáculos para el libre flujo. La primera iniciativa fue abrir la unidad de admisión rápida (EAU, del inglés *express admission unit*), sin usar mano de obra adicional para cubrir las necesidades de personal. La EAU es un área dedicada de 21 camas que procesa las admisiones directas y las del departamento de urgencias. Al quitarles el trabajo que implicaban las admisiones a las ocupadas enfermeras de la unidad, se les liberó también de la responsabilidad de realizar una actividad especialmente intensiva en tiempo. Los nuevos procesos tenían un flujo más lineal, con menos complejidad y divergencia. Todo el papeleo inicial y el diagnóstico se efectuaban en la unidad de admisión rápida con un tiempo de rotación proyectado de entre sólo 60 y 70 minutos. Los médicos ya no enviaban a los pacientes a que les practicaran un examen completo de diagnóstico en el DU, porque éste se realizaba ágilmente en la EAU. Las horas que los pacientes admitidos pasaban en el DU se redujeron en 50%.

El siguiente esfuerzo de rediseño fue con el *mejoramiento rápido de procesos*, una técnica para probar ideas de cambios en pequeña escala, modificando los procesos para mejorarlos y ampliándolos hacia otras áreas cuando son exitosos. La primera prueba consistió en enviar informes por fax del DU a la unidad receptora, lo que eliminó el tiempo que se dedicaba a mantener y devolver las llamadas. Tres meses después, este proceso se extendió a todo el hospital. Otros cambios incluyeron el traslado de más enfermeras de las áreas médicas y de evaluación para trabajar en los periodos de mayor movimiento, comenzando con los procedimientos de diagnóstico con pruebas de laboratorio y rayos X en el área de evaluación cuando la EAU estaba al máximo de su capacidad, y llevando a los pacientes directamente a la habitación en cuanto se desocupaba alguna y el registro se efectuaba ahí mismo en la cama. Uno de los cambios más importantes fue la segmentación de la población de cuidados de urgencia dentro del DU con la creación de un área de atención rápida que, en esencia, constituía una unidad médica menor dentro del DU. Los pacientes que tenían necesidades no urgentes anteriormente tenían que esperar más que los demás y requerían la menor cantidad de tiempo para recibir tratamiento, lo que producía una gran insatisfacción. Entonces, empezaron a celebrarse *reuniones informales* por lo menos tres veces al día. A estas reuniones asisten el supervisor del hospital, el supervisor de mantenimiento y las principales enfermeras a cargo con el fin de mejorar la planificación del flujo de camas y proporcionar más información a todos los interesados. El proceso de alta también se mejoró.

Los procesos rediseñados redujeron los retrasos en la asignación de pacientes del DU a camas del hospital y en el traslado de pacientes del hospital a los centros de cuidados a largo plazo. El TAT global del DU se redujo en 9%, a pesar de que el volumen de DU se estaba incrementando. La estancia se redujo dos días, el equivalente a construir 12 camas de la unidad de cuidados intensivos. El índice de mortalidad disminuyó, el volumen aumento 20% y la satisfacción de los pacientes mejoró del 10° al 85° percentil, de acuerdo con una encuesta realizada por la Organización Gallup. Lo que al principio parecía un problema de capacidad se resolvió sin agregar personal ni aumentar el número de camas; se solucionó con el rediseño de los procesos.

Fuentes: Suzanne S. Horton, "Increasing Capacity While Improving the Bottom Line", *Frontiers of Health Services Management,* volumen 20, número 4, verano de 2004, pp. 17–23; Richard S. Zimmerman, "Hospital Capacity, Productivity, and Patient Safety—It All Flows Together," *Frontiers of Health Services Management,* volumen 20, número 4, verano de 2004), pp. 33–38.

Lluvia de ideas

Dejar que un grupo de personas, conocedoras del proceso, propongan ideas de cambio, diciendo espontáneamente lo que les venga a la mente.

Las respuestas a estas preguntas pueden cuestionarse si se plantea otra serie de preguntas: *¿Por qué* se pone en práctica el proceso? *¿Por qué* se realiza donde se realiza? *¿Por qué* se realiza cuando se realiza?

La creatividad también se puede estimular por medio de una sesión de **lluvia de ideas**, es decir, dejar que un grupo de personas, conocedoras del proceso, propongan ideas de cambio, diciendo espontáneamente lo que les venga a la mente. Un moderador registra las ideas en un rotafolios para que todos puedan verlas. Se evita que los participantes evalúen las ideas generadas

durante de la sesión. El propósito es estimular la creatividad y obtener la mayor cantidad de ideas posible, sin importar lo extravagantes que puedan parecer. No es necesario que los participantes se limiten al equipo de diseño, con tal de que hayan visto u oído la documentación del proceso. Un número creciente de grandes compañías, como Sun Life Financial y Georgia-Pacific, están aprovechando Internet y software especialmente diseñado para realizar sesiones de lluvia de ideas que permiten que personas situadas en lugares remotos "se reúnan" en línea a pensar en soluciones para problemas concretos. La tecnología permite a los empleados ver y basarse en las ideas de otros, de modo que el origen de una idea planteado por una persona pueda desarrollarse y convertirse en un plan práctico.

Cuando termina la sesión de lluvia de ideas, el equipo de diseño avanza a la etapa "realista": la evaluación de las diferentes ideas. El equipo identifica los cambios que ofrecen los mejores resultados para el rediseño del proceso. Éste puede abarcar aspectos de capacidad, distribución, tecnología o incluso ubicación, todo lo cual se aborda con mayor detalle en los siguientes capítulos.

El proceso rediseñado se documenta una vez más, pero esta vez como la visión "a posteriori" del proceso. Los resultados esperados se calculan cuidadosamente, junto con los riesgos. En el caso de los cambios que requieren inversiones, es necesario tomar en consideración el valor del dinero en el tiempo (véase el suplemento J, *Financial Analysis* (Análisis financiero), en el CD-ROM del estudiante, en inglés). El impacto producido en la gente (habilidades, grado de cambio, necesidades de capacitación y resistencia al cambio) también debe tomarse en cuenta en la evaluación del nuevo diseño.

BENCHMARKING

El benchmarking es otra herramienta valiosa en el rediseño de los procesos. **Benchmarking** es un procedimiento sistemático para medir los procesos, servicios y productos de una empresa y compararlos con los de los líderes de la industria. Las compañías usan este método para entender cómo hacen las cosas las empresas más destacadas, con miras a mejorar sus propios procesos.

benchmarking
Procedimiento sistemático para medir los procesos, servicios y productos de una empresa y compararlos con los de los líderes de la industria.

El benchmarking se centra en establecer metas cuantitativas de mejoramiento. El benchmarking *competitivo* se basa en comparaciones con un competidor directo en la industria. El benchmarking *funcional* compara áreas como administración, servicio a clientes y operaciones de ventas con las de las empresas que sobresalen en cualquier industria. Por ejemplo, Xerox comparó su función de distribución con la de L.L. Bean porque esta empresa es reconocida como un líder minorista en distribución eficiente y atención a clientes.

El benchmarking *interno* consiste en estudiar una unidad de la propia organización que tenga desempeño superior y usarla como parámetro de referencia de las demás unidades. Esta forma de benchmarking puede resultar ventajosa para las empresas que tienen varias unidades de negocios o divisiones. Todas las formas de benchmarking se aplican mejor en situaciones en las que lo que se busca es un programa de mejoramiento continuo a largo plazo.

Las mediciones típicas que se usan el benchmarking son: costo por unidad, perturbaciones del servicio (interrupciones) por cliente, tiempo de procesamiento por unidad, tasas de retención de clientes, ingresos por unidad, rendimiento de la inversión y niveles de satisfacción del cliente.

Este método de comparación se realiza en cuatro pasos básicos:

1. *Planificación.* Identificar el proceso, servicio o producto que se desea comparar y la o las empresas que se usarán como modelos en la comparación; determinar las mediciones de desempeño para el análisis; recabar los datos.
2. *Análisis.* Determinar la brecha entre el desempeño actual de la empresa y el de la o las empresas elegidas como modelos para la comparación e identificar las causas de las discrepancias significativas observadas.
3. *Integración.* Establecer metas y obtener el apoyo de los gerentes que deberán proporcionar los recursos necesarios para alcanzar esos objetivos.
4. *Acción.* Crear equipos interdisciplinarios con las personas más afectadas por los cambios; trazar planes de acción y asignar tareas por equipos; implementar los planes; monitorear los avances y recalibrar los modelos de comparación a medida que se realizan las mejoras.

La recolección de datos para el benchmarking a veces supone todo un desafío. Los datos para el benchmarking interno son sin duda los más accesibles. Una forma de benchmarking siempre está disponible: dar seguimiento al desempeño de un proceso a través del tiempo. A menudo, asociaciones profesionales o empresas de consultoría recopilan los datos para el benchmarking funcional. Varias corporaciones y organizaciones gubernamentales han accedido a compartir y estandarizar modelos de desempeño para benchmarking. La American Productivity and Quality Center, una organización sin fines de lucro, creó miles de mediciones, como ilustra la figura 5.13. La gama completa de mediciones se puede explorar en www.apqc.org.

FIGURA 5.13

Mediciones ilustrativas de benchmarking por tipo de proceso

Proceso de relaciones con el cliente

- Costo total de "colocar, procesar y dar seguimiento a los pedidos" por cada $1000 de ingresos.
- Costos del proceso para el sistema por cada $100,000 de ingresos.
- Valor de artículos de línea de un contrato de venta que no se surtieron debido a desabasto, como porcentaje de los ingresos.
- Porcentaje del valor de las ventas de bienes terminados que se devuelven.
- Tiempo promedio desde el recibo del contrato de venta hasta que se informa a las áreas de manufactura o logística.
- Tiempo promedio en contacto directo con el cliente por artículo de línea de un contrato de venta.

Proceso de surtido de pedidos

- Valor de los embarques de la planta por empleado.
- Rotación de inventarios de bienes terminados.
- Tasa de rechazo como porcentaje del total de pedidos procesados.
- Porcentaje de pedidos devueltos por los clientes a causa de problemas de calidad.
- Tiempo estándar de espera del cliente desde que se levanta el pedido hasta su envío.
- Porcentaje de los pedidos enviados a tiempo.

Proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos

- Porcentaje de ventas debido a servicios o productos lanzados el año pasado.
- Costos del proceso de "generar nuevos servicios o productos" por cada $1000 de ingresos.
- Razón de proyectos que ingresan al proceso a proyectos que se terminan en el proceso.
- Tiempo para llegar al mercado del proyecto de mejoramiento de servicios o productos existentes.
- Tiempo para llegar al mercado del proyecto de nuevos servicios o productos.
- Tiempo para alcanzar la rentabilidad del proyecto de mejoramiento de servicios o productos existentes.

Proceso de relaciones con los proveedores

- Costo del proceso de "seleccionar proveedores y desarrollar y mantener contratos" por cada $1000 de ingresos.
- Número de empleados por cada $1000 de compras.
- Porcentaje de órdenes de compra aprobadas electrónicamente.
- Tiempo promedio para colocar una orden de compra.
- Número total de vendedores activos por cada $1000 de compras.
- Porcentaje del valor de los materiales comprados que están certificados por el proveedor.

Proceso auxiliar

- Costo para el sistema de la función de finanzas por cada $1000 de ingresos.
- Porcentaje de personal de finanzas dedicado a auditoría interna.
- Costo total de los procesos de nómina por cada $1000 de ingresos.
- Número de empleos aceptados como porcentaje de las ofertas de empleo.
- Costo total del proceso de "proveer, reclutar y seleccionar" por cada $1000 de ingresos.
- Tasa promedio de rotación de empleados.

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Si no se administran los procesos es como si no se administrara la empresa. La implementación de un proceso maravillosamente rediseñado es sólo el principio del monitoreo y mejoramiento continuo de los procesos. Las metas de medición deben evaluarse constantemente y restablecerse para adaptarlas a las necesidades cambiantes. Evite los siguientes siete errores que suelen cometerse en la administración de los procesos.[1]

1. *No establecer conexión con los aspectos estratégicos.* ¿Se presta atención especial a los procesos centrales, prioridades competitivas, impacto del contacto con el cliente y volumen y ajuste estratégico durante el análisis de procesos?
2. *No lograr que la gente participe de la manera correcta.* ¿El análisis de procesos consigue la participación activa de las personas que realizan los procesos o las que tienen una relación estrecha con éstos, como los clientes internos y proveedores?
3. *No dar a los equipos de diseño y analistas de procesos una idea clara de las expectativas y después responsabilizarlos.* ¿La gerencia establece expectativas sobre el cambio y mantiene la presión para obtener resultados? ¿Permite parálisis en los esfuerzos de mejoramiento de los procesos al exigir un análisis excesivo?

[1]Geary A. Rummler y Alan P. Brache, *Improving Performance,* 2a. edición, San Francisco, Jossey-Bass, 1995, pp. 126-133.

4. *No sentirse satisfecho a menos que se apliquen cambios fundamentales de "reingeniería".* ¿La expectativa es el cambio radical resultante de la reingeniería de los procesos? De ser así, se perdería el efecto acumulado de muchas mejoras menores que podrían lograrse gradualmente. Los esfuerzos de administración de los procesos no deben limitarse exclusivamente a despedir personal o a reorganizar la empresa, aun cuando se eliminen puestos de trabajo o se modifique la estructura. Tampoco deben limitarse a los grandes proyectos de innovación tecnológica, a pesar de que el cambio tecnológico se produce a menudo.
5. *No tomar en consideración el impacto en la gente.* ¿Los cambios se alinean con las actitudes y habilidades de las personas que deben implementar el proceso rediseñado? Es crucial entender y atender el *lado que se relaciona con la gente* de los cambios en los procesos.
6. *No prestar atención a la implementación.* ¿Los procesos se rediseñan, pero nunca se implementan? Los diagramas de flujo y procedimientos de benchmarking, por excelentes que sean, sólo tienen interés académico si los cambios propuestos no se implementan. Se requieren buenas prácticas de administración de proyectos.
7. *No crear una infraestructura para el mejoramiento continuo de los procesos.* ¿Se ha establecido un sistema de medición para monitorear los principales indicadores a través del tiempo? ¿Hay alguien que se ocupe de verificar si los beneficios previstos de un proceso rediseñado se están obteniendo en realidad?

Los gerentes deben asegurarse de que su organización detecte nuevas brechas de desempeño en la búsqueda continua del mejoramiento de los procesos. Es preciso que los esfuerzos de rediseño de los procesos formen parte de revisiones periódicas e incluso de planes anuales. La medición es el foco de atención del siguiente capítulo. Ahí se explica cómo un sistema de seguimiento del desempeño es la base de la retroalimentación y los esfuerzos de mejoramiento. La esencia de una organización que aprende es el uso inteligente de dicha retroalimentación.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.



> TÉRMINOS CLAVE <

análisis de procesos 153
benchmarking 171
diagrama de causa y efecto 165
diagrama de dispersión 165
diagrama de flujo 155
equipo de diseño 154
gráfico de barras 161
gráfico de Pareto 164
gráfico de proceso 159
gráficos 166
histograma 161
lista de verificación 161
lluvia de ideas 170
plano de servicio 158
simulación de procesos 168
sistema de medición 154
sistema de sugerencias 154

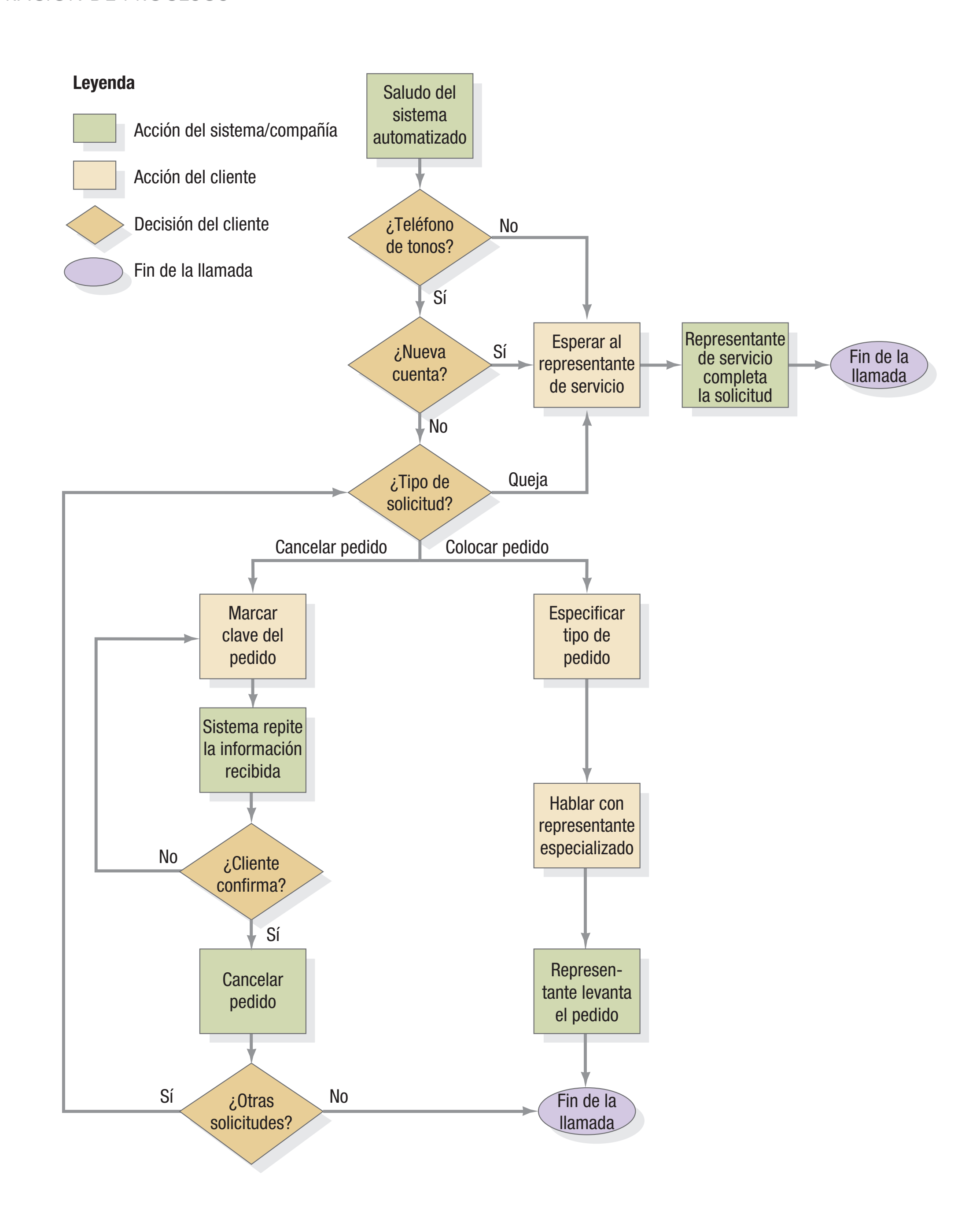
> PROBLEMA RESUELTO 1 

Cree un diagrama de flujo para el siguiente proceso de pedidos por teléfono de una cadena minorista que se especializa en la venta de libros y discos compactos de música. El proceso proporciona un sistema de colocación de pedidos por teléfono a los clientes que disponen de poco tiempo, además de las ventas normales en tienda.

Primero, el sistema automatizado saluda a los clientes e identifica si éstos cuentan con un teléfono de tonos o de pulsos. Los clientes seleccionan 1 si tienen un teléfono de tonos; si no, esperan a que se desocupe el primer representante de servicio para procesar su solicitud. Si los clientes llaman desde un teléfono de tonos, completan su solicitud eligiendo opciones por teléfono. Primero, el sistema comprueba si los clientes ya tienen cuenta. Los clientes eligen 1 si ya tienen cuenta, o 2 si desean abrir una nueva cuenta. Los clientes esperan a que el representante de servicio abra la nueva cuenta si eligen 2.

A continuación, los clientes eligen entre las opciones de colocar un pedido, cancelar un pedido o hablar con un representante de atención a clientes si tienen alguna duda o queja. Si los clientes optan por levantar un pedido, especifican el tipo de pedido (por ejemplo, un libro o un disco compacto de música) y un representante de atención especializado en libros o discos compactos de música toma el teléfono para obtener los detalles del pedido. Si el cliente decide cancelar un pedido, debe esperar la respuesta automatizada. Para cancelar el pedido, el cliente tiene que mar-

FIGURA 5.14
Diagrama de flujo de un proceso de pedidos por teléfono



car la clave del pedido en el teclado de su teléfono. El sistema automatizado dice el nombre del artículo pedido y solicita la confirmación del cliente. Si el cliente valida la cancelación del pedido, el sistema procede a cancelar el pedido; de lo contrario, el sistema pide al cliente que vuelva a introducir la clave del pedido. Después de responder a la solicitud, el sistema pregunta si el cliente tiene alguna solicitud adicional; si no, el proceso termina.

SOLUCIÓN

La figura 5.14 muestra el diagrama de flujo.

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Un taller de servicio para automóviles ha tenido dificultades para realizar cambios de aceite en los 29 minutos o menos que ofrece en su publicidad. Ahora usted está a cargo de analizar el proceso de cambio de aceite del motor de un automóvil. El sujeto de estudio será el mecánico del servicio. El proceso comienza cuando el mecánico dirige al cliente, a su llegada, y termina cuando el cliente paga la cuenta por los servicios realizados.

SOLUCIÓN

La figura 5.15 muestra el gráfico completo del proceso. El proceso se ha dividido en 21 pasos. En la esquina superior derecha del gráfico del proceso aparece un resumen de los tiempos y las distancias recorridas.

Los tiempos totalizan 28 minutos, lo cual no deja mucho margen de error si se quiere cumplir la garantía de los 29 minutos; por otra parte, el mecánico recorre 420 pies en total.

Proceso:	cambio de aceite del motor
Sujeto:	el mecánico
Principio:	Dirigir al cliente a su llegada
Final:	calcular el total de cargos y recibir el pago

Insertar paso

Adjuntar paso

Eliminar paso

Resumen

Actividad		Número de pasos	Tiempo (min)	Distancia (pies)
Operación	●	7	16.50	
Transporte	➡	8	5.50	420
Inspección	■	4	5.00	
Retraso	◗	1	0.70	
Almacenamiento	▼	1	0.30	

Núm. de paso	Tiempo (min)	Distancia (pies)	●	➡	■	◗	▼	Descripción del paso
1	0.80	50.0		X				Dirigir al cliente al área de servicio
2	1.80		X					Tomar nota del nombre del cliente y el servicio solicitado
3	2.30				X			Levantar capó, verificar tipo de motor, inspeccionar mangueras, revisar niveles de líquidos
4	0.80	30.0		X				Caminar hasta el cliente en el área de espera
5	0.60		X					Recomendar servicios adicionales
6	0.70					X		Esperar la decisión del cliente
7	0.90	70.0		X				Caminar hasta el almacén
8	1.90		X					Buscar el o los números de filtros, localizar el o los filtros
9	0.40				X			Verificar el o los números de los filtros
10	0.60	50.0		X				Llevar el o los filtros al foso de servicio
11	4.20		X					Realizar los servicios en la parte inferior del automóvil
12	0.70	40.0		X				Salir del foso, caminar hacia el automóvil
13	2.70		X					Llenar el depósito de aceite del motor, poner en marcha el motor
14	1.30				X			Inspeccionar para ver si no hay fugas
15	0.50	40.0		X				Caminar hasta el foso
16	1.00				X			Inspeccionar para ver si no hay fugas
17	3.00		X					Limpiar y organizar el área de trabajo
18	0.70	80.0		X				Regresar al vehículo y sacarlo del área de servicio
19	0.30						X	Estacionar el automóvil
20	0.50	60.0		X				Caminar hasta el cliente en el área de espera
21	2.30		X					Calcular el total de cargos y recibir el pago

FIGURA 5.15

Gráfico de proceso para cambiar el aceite del motor

> PROBLEMA RESUELTO 3 <

¿Qué mejoras puede usted hacer al proceso representado en la figura 5.15?

SOLUCIÓN

En su análisis, debe verificar las siguientes tres ideas sobre el mejoramiento del proceso. Tal vez también pueda proponer otras.

a. **Mover el paso 17 al paso 21.** Los clientes no deberían tener que esperar mientras el mecánico limpia el área de trabajo.
b. **Mantener en el foso un pequeño inventario de los filtros de uso frecuente.** Los pasos 7 y 10 implican ir al almacén. Si los filtros son trasladados al foso, también deberá colocarse ahí una copia del material de referencia. El foso tendrá que estar ordenado y bien iluminado.
c. **Empleo de dos mecánicos.** Los pasos 10, 12, 15 y 17 requieren subir y bajar los escalones del foso. Muchos de esos recorridos podrían eliminarse. El tiempo de servicio se reduciría si un mecánico trabaja en el foso mientras que otro trabaja simultáneamente bajo el capó.

PROBLEMA RESUELTO 4

Vera Johnson y Merris Williams se dedican a fabricar crema limpiadora cosmética. El proceso de envasado consta de cuatros pasos: mezclar, rellenar, tapar y etiquetar. Han realizado un análisis de los defectos reportados, el cual arrojó los siguientes resultados:

Defecto	Frecuencia
Grumos de producto sin mezclar	7
Frascos demasiado llenos o incompletos	18
La tapa de los frascos no sella bien	6
Etiquetas arrugadas o faltantes	29
Total	60

Trace un gráfico de Pareto para identificar los defectos de importancia vital.

SOLUCIÓN

Los defectos de las etiquetas representan el 48.33% del número total de defectos:

$$\frac{29}{60}\times 100\% = 48.33\%$$

Los envases mal llenados representan el 30% del número total de defectos:

$$\frac{18}{60}\times 100\% = 30.00\%$$

El porcentaje acumulado de los dos defectos más frecuentes es:

$$48.33\% + 30.00\% = 78.33\%$$

Los grumos representan $\frac{7}{60}\times 100\% = 11.67\%$ e los defectos; el porcentaje acumulado es:

$$78.33\% + 11.67\% = 90.00\%$$

Las tapas mal selladas representan $\frac{6}{60}\times 100\% = 10\%$ de los defectos; el porcentaje acumulado es:

$$10\% + 90\% = 100.00\%$$

El gráfico de Pareto se presenta en la figura 5.16.

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. El mejoramiento continuo reconoce que muchas mejoras pequeñas se conjuntan para ofrecer ventajas considerables. ¿El mejoramiento continuo llevará a la cima a una compañía que ocupa el último lugar en su industria? Explique.
2. Hydro-Electric Company (HEC) dispone de tres fuentes de energía. Una pequeña cantidad de energía hidroeléctrica se genera represando las aguas de ríos caudalosos y panorámicos; una segunda fuente de energía se basa en la combustión de carbón, la cual produce emisiones que generan lluvia ácida y contribuyen al calentamiento global; la tercera fuente de energía proviene de la fisión nuclear. Las plantas de HEC alimentadas con carbón utilizan una tecnología obsoleta para el control de la contaminación, y se requeriría una inversión de varios cientos de millones de dólares para actualizarla. Los ecologistas presionan a HEC para que apoye la conservación y compre energía a los proveedores que utilizan los combustibles y la tecnología más limpios.

   Sin embargo, HEC ya está sufriendo de una disminución de sus ventas, lo cual ha dado como resultado que tenga invertidos miles de millones de dólares en equipo ocioso. Sus clientes grandes se han acogido a las leyes que les permiten comprar energía eléctrica a proveedores de bajo costo. HEC tiene que cubrir los costos fijos de su capacidad ociosa, ya sea elevando las tarifas que cobra a los clientes que aún le quedan o cayendo en el incumplimiento de sus obligaciones (quiebra). El incremento de las tarifas indujo a un número aún mayor de clientes a buscar proveedores que ofrecieran precios más bajos, y eso fue el principio de una espiral fatal para HEC. Para no tener que aplicar incrementos adicionales a sus tarifas, HEC ha puesto en marcha un programa de recorte de costos y ha dejado en suspenso los planes para actualizar sus sistemas de control de la contaminación.

   Forme equipos para un debate sobre las cuestiones éticas, ambientales y políticas, así como las transacciones compensatorias asociadas a la estrategia de HEC.

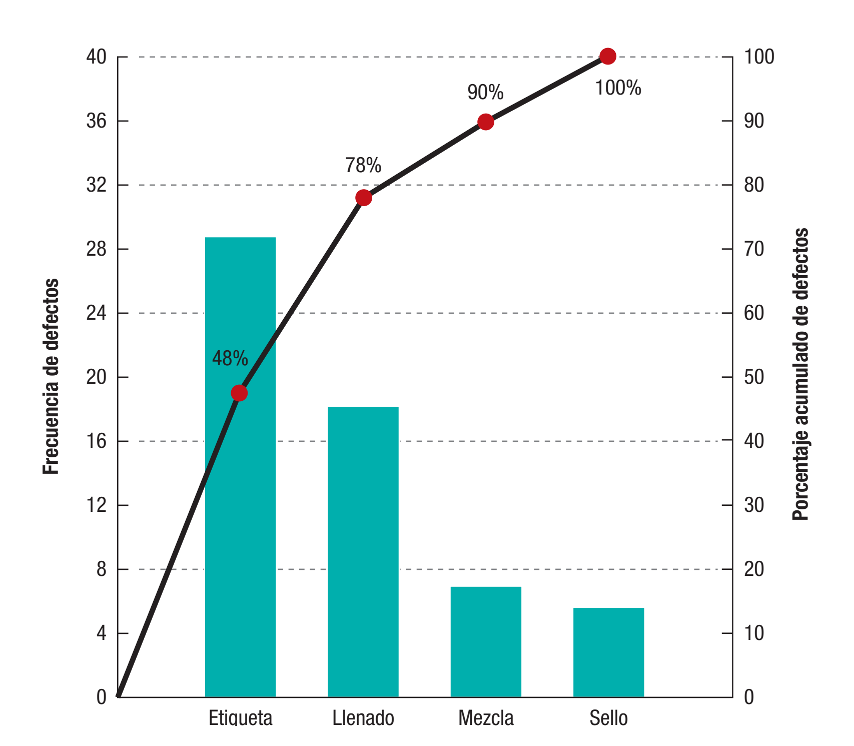


FIGURA 5.16
Gráfico de Pareto

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software en inglés, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Considere el caso de Custom Molds, Inc., que se presenta al final del capítulo 4, "Estrategia de procesos". Prepare un diagrama de flujo del proceso de fabricación de moldes y el proceso de manufactura de partes, que muestre cómo se relacionan estos procesos entre sí. Encontrará una buena lección sobre cómo crear diagramas de flujo en www.hci.com.au/hcisite2/toolkit/flowchar.htm. Consulte también el tutor para trazas diagramas de flujo en Excel, incluido en el CD-ROM del estudiante.

2. Resuelva el problema 1 en una hoja de cálculo donde creará un gráfico de proceso que usted mismo diseñará, diferente del que se obtiene con el *solver* de gráficos de procesos de OM Explorer. Debe tener una o más columnas para registrar información o mediciones que usted considere pertinentes, trátese de contacto con clientes externos, retrasos, tiempos de terminación, porcentaje de readaptaciones, costos, capacidad e índices de demanda. Las entradas deben mostrar la información que recopilaría, aun cuando sólo parte de ésta esté disponible en el caso.

3. ABC, empresa fundada en 1970, es una de las compañías de seguros más grandes del mundo, con presencia en 28 países. Dada la siguiente descripción, trace un diagrama de flujo del proceso de contratación de nuevas pólizas, tal como existía en 1970.

   Cada cliente que deseaba contratar una nueva póliza visitaba una de las 70 sucursales de ABC o se ponía en contacto con un agente. A continuación, llenaba una solicitud y, a veces, adjuntaba un cheque. La sucursal enviaba el paquete de solicitud por medio del correo de la compañía a la división XYZ en Londres. Además, el cliente también podía llenar la solicitud en casa y enviarla directamente a una serie de establecimientos de ABC, los que la reenviaban, a su vez, a la operación de Londres. Una vez recibida, en XYZ se separaban las distintas partes de la solicitud, misma que después se escaneaba y digitalizaba. La imagen electrónica se recuperaba del servicio y se enviaba a la computadora cliente de un empleado. El empleado era responsable de introducir la información contenida en el formulario en la base de datos correspondiente. Si la información proporcionada en la solicitud estaba completa, automáticamente se imprimía un aviso de confirmación que se enviaba al cliente. Si la información no estaba completa, otro empleado, capacitado para tratar con los clientes por teléfono, llamaba al cliente en cuestión para obtener la información adicional. Si el cliente observaba algo mal en el aviso de confirmación que recibía, tenía que llamar a un número gratuito o enviar una carta describiendo el problema. La división de Resolución de problemas de los clientes se ocupaba de atender los problemas que se presentaban en este punto. Se enviaba un aviso de confirmación al cliente. Si la información era correcta, la transacción de solicitud quedaba concluida.

4. Resuelva el problema 3 en una hoja de cálculo donde creará un gráfico de proceso que usted mismo diseñará, diferente del que se obtiene con el *solver* de gráficos de procesos de OM Explorer. Debe tener una o más columnas para registrar información o mediciones que usted crea que tendrán que recopilarse para analizar el proceso (véase el problema 2).

5. Prepare un diagrama de flujo del proceso de la división de servicio de campo en DEF, según se describe a continuación. Empiece a partir de que se recibe una llamada y termine cuando el técnico concluye el trabajo.

DEF era una empresa multimillonaria que fabricaba y distribuía una amplia variedad de equipo electrónico, fotográfico y reprográfico que se utilizaba en muchas aplicaciones de sistemas médicos y de ingeniería. La División de Servicio de Campo empleaba a 475 técnicos de servicio que daban mantenimiento y efectuaban reparaciones cubiertas por garantía en el equipo que vendía DEF. Los clientes llamaban al Centro Nacional de Servicio (CNS) de DEF, en el que se recibían alrededor de 3000 llamadas al día. Aproximadamente 40 operadores atendían el centro de atención telefónica del CNS. Una llamada típica de servicio se recibía en el CNS y se transmitía a uno de los operadores, que registraba la información sobre la máquina, el nombre de la persona que llamaba y el tipo de problema en la computadora central de DEF. En algunos casos, el operador trataba de ayudar al cliente a arreglar el problema. Sin embargo, los operadores sólo podían en ese momento evitar alrededor de 10% de las visitas de servicio urgente de mantenimiento. Si no era posible evitar la visita de servicio, el operador por lo general leía el siguiente guión: "Dependiendo de la disponibilidad de nuestros técnicos, le agradeceremos esperar la visita de uno de ellos en algún momento entre hoy y (hoy + X)." ("X" era el tiempo de respuesta objetivo con base en el número de modelo y la zona.) Esta información se proporcionaba al cliente porque muchos de ellos querían saber cuándo llegaría el técnico a su domicilio.

Los operadores introducían la información sobre la visita de servicio en el sistema computarizado de DEF y, a continuación, la información se enviaba electrónicamente al centro regional de despacho asignado al lugar de residencia del cliente. (DEF tenía cuatro centros regionales de despacho, con un total de aproximadamente 20 despachadores). La información sobre la visita de servicio se imprimía en una tarjeta pequeña en el centro de despacho. Más o menos cada hora, las tarjetas se desprendían de la impresora y se entregaban al despachador asignado al cliente. El despachador colocaba cada tarjeta en un tablero magnético debajo del nombre del técnico que el despachador consideraba que era el candidato más probable para realizar la visita de servicio, dado el lugar donde se encontraba la máquina, el lugar donde se encontraba el técnico en ese momento y el perfil de formación del técnico. Después de realizar la visita de servicio, los técnicos llamaban al despachador al centro regional, informaban que la visita se había atendido y recibían una nueva encomienda asignada por el despachador. Después de recibir la asignación de servicio de un despachador, el técnico llamaba al cliente para darle una hora esperada de llegada, conducía al domicilio del cliente, diagnosticaba el problema, reparaba la máquina si llevaba las refacciones en la camioneta y después llamaba al despachador para que le asignara la siguiente visita. Si el técnico no llevaba las refacciones necesarias para efectuar la reparación, informaba al CSN y la parte se le enviaba por correo exprés al cliente; la reparación se realizaba a la mañana siguiente.

6. Resuelva el problema 5 en una hoja de cálculo donde creará un gráfico de procesos que usted mismo diseñará, diferente del que se obtiene con el *solver* de gráficos de procesos de OM Explorer. Debe tener una o más columnas para registrar información o mediciones que usted crea que tendrán que recopilarse para analizar el proceso (véase el problema 2).

7. Si ha visto en clase en video *Process Choice at the King Soopers Bakery,* prepare un diagrama de flujo para los tres procesos que se desarrollan en King Soopers. Encontrará información adicional sobre los procesos en la sección *El panorama general* correspondiente al capítulo 4 en el CD-ROM del estudiante, en inglés.

8. Su grupo escolar se ha ofrecido a trabajar a favor del referéndum número 13 para la votación de noviembre. En ese referéndum se someterá a votación la propuesta de enseñanza y libros gratuitos para todos los cursos de enseñanza superior, excepto el de administración de operaciones. El apoyo que se brindará al referéndum incluye la colocación de 10,000 letreros en los jardines universitarios (letreros impresos en papel resistente al agua, que luego se pegan y engrapan en una estaca de madera), en un sábado de otoño. Construya un diagrama de flujo y una gráfica del proceso de colocación de esos letreros. ¿Qué insumos se requieren, en términos de materiales, esfuerzo humano y equipo? Calcule la cantidad requerida de voluntarios, grapas, pegamento, equipo, espacio de jardines y estacionamiento, además de la consabida pizza.

9. Suponga que está a cargo de enviar una invitación por correo a los numerosos ex alumnos de su escuela para que contribuyan a formar un fondo para becas. Los sobres y las cartas se han rotulado en forma individual (no se usaron etiquetas rotuladas). Será necesario doblar y colocar cada carta dentro del sobre correcto. Los sobres deberán cerrarse y en la esquina superior derecha de cada uno se pegará una estampilla conmemorativa grande. Elabore una gráfica de proceso para esta actividad, suponiendo que una sola persona realizará todo el trabajo. Calcule cuánto tiempo tardará en introducir 2000 cartas en los sobres, cerrarlos y pegar las estampillas en éstos. Suponga que la persona que realizará este trabajo recibirá un pago de $8.00 por hora. ¿Cuánto costará el procesamiento de 2000 cartas, tomando como base su cálculo del tiempo requerido? Considere cómo afectaría cada uno de los siguientes cambios a este proceso.

- Cada carta lleva el saludo "Estimado alumno o alumna", en lugar del nombre de la persona.
- Se usan etiquetas membreteadas que deberán pegarse en los sobres.
- Se usan sobres a los que previamente se les ha pegado la estampilla.
- Los sobres se sellarán por medio de máquina franqueadora.
- Se usan sobres con ventana.
- Se incluye un sobre previamente rotulado junto con cada carta para solicitar contribuciones.

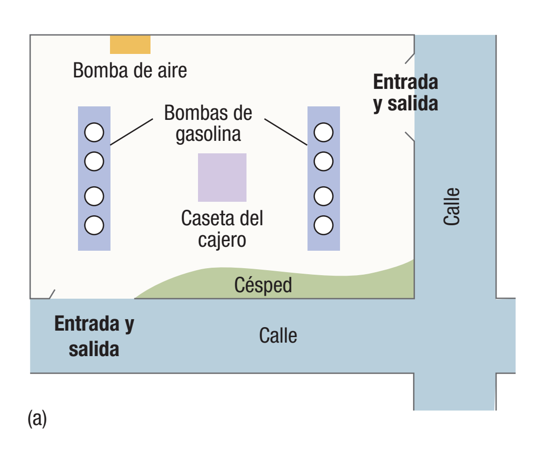
a. En virtud de sus estimaciones de tiempo, ¿cuál o cuáles de estos cambios pueden reducir el tiempo y el costo del proceso?

b. ¿Es probable que algunos de estos cambios reduzcan la eficacia del envío por correo? De ser así, ¿cuáles? ¿Por qué?

c. ¿Es probable que los cambios que aumentan el tiempo y el costo del trabajo incrementen la eficacia del envío por correo? ¿Por qué sí o por qué no?

d. ¿Qué otros factores es necesario considerar en este proyecto?

10. En las figuras 5.17(a) y (b) se muestran los diagramas de dos gasolineras de autoservicio, las dos situadas en esquinas. Ambas tienen dos hileras de cuatro bombas y una caseta en la que un dependiente recibe el pago por la gasolina. En ninguna de las gasolineras se requiere que el cliente pague por



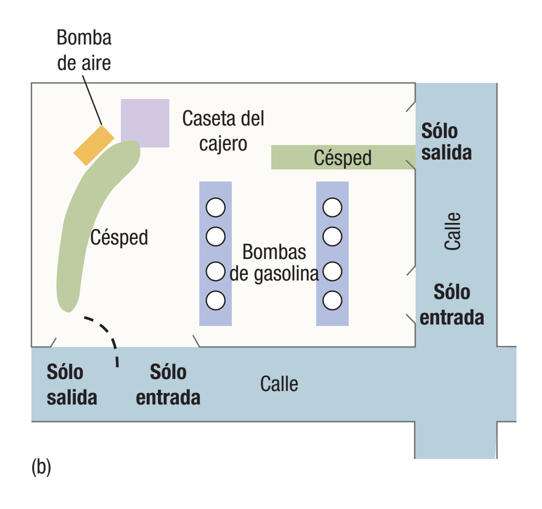


FIGURA 5.17 | Dos gasolineras de autoservicio

adelantado. Las salidas y entradas están marcadas en los diagramas. Analice la circulación de automóviles y de personas en cada gasolinera.

a. ¿Qué gasolinera tiene circulación más eficiente desde el punto de vista del cliente?

b. ¿Qué gasolinera tiene probabilidades de perder más clientes potenciales que no pueden tener acceso a las bombas porque se topan con otro automóvil en dirección contraria?

c. ¿En qué estación puede pagar el cliente sin necesidad de bajarse del automóvil?

11. La gerencia del restaurante Just Like Home le ha pedido que analice algunos de sus procesos. Uno de esos procesos consiste en la preparación de un cono de helado con una sola bola. Los conos pueden ser ordenados por un camarero (para servicio en la mesa) o por el propio cliente (para llevar).

La figura 5.18 muestra el gráfico del proceso correspondiente a esta operación.

- El dependiente del mostrador de helados gana $10 por hora (incluidas las prestaciones variables).
- El proceso se lleva a cabo 10 veces por hora (en promedio).
- El restaurante permanece abierto 10 horas diarias, 363 días al año.

a. Complete la parte del gráfico correspondiente al resumen (parte superior derecha).

b. ¿Cuál es el costo total de mano de obra asociado a este proceso?

c. ¿Cómo podría hacerse más eficiente esta operación? Trace un gráfico del proceso mejorado. ¿A cuánto ascendería el ahorro anual en mano de obra si se implementara este nuevo proceso?

Proceso:	preparar un cono de helado de una bola
Sujeto:	dependiente del mostrador
Principio:	ir al área de almacenamiento de conos
Final:	entregar el cono al camarero o al cliente

Insertar paso

Adjuntar paso

Eliminar paso

Resumen

Actividad		Número de pasos	Tiempo (min.)	Distancia (pies)
Operación	●			
Transporte	➡			
Inspección	■			
Retraso	◗			
Almacenamiento	▼			

Núm. de paso	Tiempo (min.)	Distancia (pies)	●	➡	■	◗	▼	Descripción del paso
1	0.20	5.0		X				Caminar hacia el área de almacenamiento de conos
2	0.05		X					Sacar un cono vacío
3	0.10	5.0		X				Regresar al mostrador
4	0.05		X					Colocar el cono en el soporte
5	0.20	8.0		X				Caminar hacia el área del fregadero
6	0.50					X		Pedir al lavaplatos que lave la cuchara para servir helado
7	0.15	8.0		X				Caminar hacia el mostrador con una cuchara limpia
8	0.05		X					Recoger el cono vacío
9	0.10	2.5		X				Caminar hacia donde está el helado del sabor solicitado
10	0.75		X					Extraer con la cuchara el helado del recipiente
11	0.75		X					Poner la bola de helado en el cono
12	0.25				X			Comprobar que la bola de helado no se caerá del cono
13	0.05	2.5		X				Caminar hasta el área de pedidos
14	0.05		X					Entregar el cono al camarero o al cliente

| FIGURA 5.18

12. Como asistente de posgrado, uno de sus deberes es clasificar y llevar registros de los trabajos asignados en el curso de administración de operaciones. Cada semestre se ofrecen cinco secciones para 40 alumnos cada una. Unos cuantos estudiantes de posgrado asisten a las secciones 3 y 4. Los estudiantes de posgrado deben realizar algún trabajo adicional para mejorar sus calificaciones de cada asignatura. Todos los martes, cada alumno entrega (o se supone que debe entregar) directamente en la puerta de la oficina que usted ocupa (o introducir por debajo de la puerta) un trabajo realizado en casa. La tarea de usted consiste en corregir los trabajos, registrar las calificaciones, clasificar los ensayos por sección de clase, colocarlos en orden alfabético por apellidos y entregar los trabajos a los profesores correspondientes (no necesariamente en ese orden). Hay algunas complicaciones. La mayoría de los estudiantes firman sus trabajos con letra legible; otros identifican su trabajo con el número de identificación correcto, y unos cuantos no hacen ni una ni otra cosa. Es raro que un alumno incluya su número de sección o su condición de posgraduado. Prepare una lista con los pasos del gráfico del proceso y ordénelos en una secuencia eficiente.

13. En el Departamento de Vehículos Motorizados, el proceso para conseguir las placas de matrícula de su automóvil empieza cuando usted entra en las oficinas y toma un número. Camina 15 metros (50 pies) hasta el área de espera. Durante la espera, cuenta unos 30 clientes que también esperan a recibir el servicio. Observa que muchos de ellos se desaniman y se van. Cuando se anuncia un número, si el cliente que lo tiene sigue allí, una persona uniformada revisa el comprobante y el cliente es remitido al empleado que esté desocupado. Si el cliente ya no está allí, se pierden algunos minutos mientras alguien llama varias veces el mismo número. Finalmente, se anuncia el siguiente número y, con bastante frecuencia, se trata de otro cliente que también se ha marchado. Así, el empleado del Departamento de Vehículos Motorizados permanece ocioso durante algunos minutos, pero no parece importarle.

Un hombre desaliñado camina hasta el dispositivo que suministra los números, recoge varios boletos del suelo y regresa a su asiento. Llega otra persona, llevando un montón de papeles y con aspecto de vendedor de autos, que camina directamente hasta el hombre desaliñado. Entonces se realiza una transacción de algún tipo. Se anuncian unos cuantos números más, ¡y resulta que el siguiente es el del vendedor de autos! Al cabo de 4 horas, se anuncia el número que a usted le tocó y la persona uniformada revisa el comprobante. Después tiene que caminar 20 metros (60 pies) hasta donde se encuentra el empleado y en 4 minutos realiza el proceso de pagar el impuesto municipal sobre ventas. El empleado le indica entonces que vaya al área de espera para pagar el impuesto estatal sobre la propiedad personal, a 26 metros (80 pies) de ahí. Descorazonado, usted toma otro número y se sienta junto a otros clientes que están renovando sus matrículas. Observa que el hombre desaliñado sigue allí. Esta vez, usted espera 1 hora con 40 minutos, y después de caminar 8 metros (25 pies) paga el impuesto sobre la propiedad en un proceso que dura 2 minutos. Ahora que ha pagado el impuesto, ya puede pagar los derechos de registro y matrícula. Ese departamento queda a 15 metros (50 pies) de allí, pasando la cafetería de los empleados. Al pasar por la cafetería, usted nota que el hombre desaliñado está tomando café con una persona uniformada.

Los clientes de registro y matrícula son llamados en el mismo orden en que pagaron los impuestos sobre la propiedad personal. La espera es de sólo 10 minutos y el proceso se realiza en 3 minutos. Usted recibe sus placas de matrícula, dedica un minuto a reprender al empleado de matrículas y sale de ahí exactamente 6 horas después haber llegado.

Prepare un gráfico para representar este proceso y sugiera varias formas de mejorarlo.

14. Consulte el gráfico del proceso correspondiente al cambio de aceite de un automóvil en el problema resuelto 2. Calcule el costo anual de mano de obra si:

- El mecánico gana $40 por hora (incluidas las prestaciones variables).
- El proceso se lleva a cabo dos veces por hora (en promedio).
- El taller permanece abierto 10 horas diarias, 300 días al año.

a. ¿Cuál es el costo total de mano de obra asociado al proceso?
b. Si se eliminaran los pasos 7, 10, 12 y 15, calcule los ahorros anuales por concepto de mano de obra asociada a la implementación de este nuevo proceso.

15. El gerente de Perrotti's Pizza está recopilando datos sobre las quejas de los clientes respecto a la entrega. Las pizzas llegan tarde, o se envía al cliente una pizza que no es la que pidió.

Problema	Frecuencia
La cubierta se pega a la tapa de la caja	17
La pizza llega con retraso	35
Ingredientes o combinación equivocados	9
Error en el estilo de la corteza	6
Tamaño incorrecto	4
La pizza llega parcialmente comida	3
La pizza jamás llega	6

a. Use un gráfico de Pareto para identificar los "pocos problemas vitales" de entrega.
b. Utilice un diagrama de causa y efecto para identificar las posibles causas de los retrasos registrados en la entrega de las pizzas.

16. Smith, Schroeder, and Torn (SST) es una compañía de mudanzas domésticas que proporciona servicio a cortas distancias. La fuerza de trabajo de SST, seleccionada entre miembros del equipo de fútbol americano de la escuela local de la comunidad, es eventual y trabaja tiempo parcial. En SST existe preocupación a causa de las quejas recientes, como muestra la tabla que aparece en la hoja de recuento siguiente.

Queja	Recuento
Vidrios rotos	𝍸 𝍸 |||
Entrega en dirección equivocada	𝍸 ||||
Muebles maltratados a bordo del camión	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸
Retraso en la entrega	𝍸
Retraso para recoger los muebles	𝍸 𝍸 𝍸 |||
Artículos faltantes	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 |
Deterioro y rayones por manejo brusco	𝍸 𝍸
Manchas en la tapicería	𝍸 |||

a. Trace un gráfico de barras y un gráfico de Pareto para identificar los problemas más graves que se presentan durante las mudanzas.
b. Básese en un diagrama de causa y efecto para identificar las posibles causas de las quejas.

17. Rick DeNeefe, gerente del departamento de autorización de crédito del Golden Valley Bank, se dio cuenta recientemente de que un competidor importante anunciaba en su publicidad que aprobaban las solicitudes de préstamos hipotecarios en el transcurso de dos días hábiles. Debido a que la prontitud en la aprobación de créditos ha sido una de sus prioridades competitivas, DeNeefe decidió averiguar cómo se comparaba la eficiencia de su departamento de crédito con el de ese competidor. Golden Valley marca con un sello la fecha y hora en que recibe cada solicitud y de nuevo cuando se toma la decisión final. En marzo se recibieron 104 solicitudes en total. El tiempo necesario para tomar cada decisión, redondeado a la hora más próxima, se muestra en la tabla siguiente. Los empleados de Golden Valley trabajan 8 horas diarias.

Tiempo para tomar la decisión	Frecuencia
7–9 horas	8
10–12 horas	19
13–15 horas	28
16–18 horas	10
19–21 horas	25
22–24 horas	4
25–27 horas	10
Total	104

a. Trace un gráfico de barras a partir de estos datos.
b. Analice los datos. ¿Cómo se desempeña Golden Valley Bank en relación con esta prioridad competitiva?

18. El año pasado, el gerente del departamento de servicio del taller mecánico East Woods Ford instituyó un programa para recabar las opiniones de los clientes, a fin de averiguar cómo mejorar el servicio.

Una semana después de haber dado servicio a un vehículo, un asistente llamaba por teléfono al cliente para averiguar si se sentía satisfecho con el trabajo realizado y solicitar sus sugerencias para mejorar el servicio. Al cabo de un año de recopilar datos, el asistente descubrió que las quejas de los clientes podían agruparse en las cinco categorías siguientes:

Queja	Frecuencia
Ambiente poco amable	5
Larga espera para recibir el servicio	17
Precios demasiado altos	20
Factura incorrecta	8
Es necesario regresar para corregir el problema	50
Total	100

a. Trace un gráfico de barras y un gráfico de Pareto para identificar los problemas de servicio más significativos.
b. Use un diagrama de causa y efecto para identificar las posibles causas de las quejas.

19. Oregon Fiber Board fabrica forros para techos interiores de vehículos en la industria automovilística. La gerente de manufactura está preocupada por la calidad del producto. Sospecha que un defecto en particular, las rasgaduras de la tela, está relacionado con el tamaño de las actuales partidas de producción. Un asistente ha recopilado los siguientes datos basándose en los registros de producción.

Partida	Tamaño	Defectos (%)	Partida	Tamaño	Defectos (%)
1	1,000	3.5	11	6,500	1.5
2	4,100	3.8	12	1,000	5.5
3	2,000	5.5	13	7,000	1.0
4	6,000	1.9	14	3,000	4.5
5	6,800	2.0	15	2,200	4.2
6	3,000	3.2	16	1,800	6.0
7	2,000	3.8	17	5,400	2.0
8	1,200	4.2	18	5,800	2.0
9	5,000	3.8	19	1,000	6.2
10	3,800	3.0	20	1,500	7.0

a. Trace un diagrama de dispersión para estos datos.
b. ¿Parece existir alguna relación entre el tamaño de la partida y el porcentaje de defectos? ¿Qué consecuencias tienen estos datos para los negocios de Oregon?

20. Grindwell, Inc., fabricante de herramientas para esmerilar, está preocupado por la durabilidad de sus productos, la cual depende de la permeabilidad de las mezclas sinterizadas que se utilizan en la producción. Sospechando que el contenido de carbono podría ser el origen del problema, el gerente de la planta recopiló los siguientes datos.

Contenido de carbono (%)	Índice de permeabilidad
5.5	16
3.0	31
4.5	21
4.8	19
4.2	16
4.7	23
5.1	20
4.4	11
3.6	20

a. Trace un gráfico de dispersión para estos datos.
b. ¿Existe alguna relación entre la permeabilidad y el contenido de carbono?
c. Si la baja permeabilidad es deseable, ¿qué indica el gráfico de dispersión con respecto al contenido de carbono?

21. La gerente de operaciones de Superfast Airlines, en el Aeropuerto Internacional O'Hare de la ciudad de Chicago, observó un incremento en el número de retrasos en la salida de los vuelos. Durante una sesión de lluvia de ideas realizada con su personal, el grupo propuso las siguientes causas posibles:

- El avión llega tarde a la terminal
- Se aceptan pasajeros impuntuales
- Los pasajeros llegan tarde a la puerta de salida
- Retrasos en el registro de pasajeros en la terminal
- El equipaje llega con retraso al avión
- Demoras de otros miembros del personal o falta de algunos artículos
- Fallas mecánicas

Dibuje un diagrama de causa y efecto para organizar las posibles causas de los retrasos en la salida de vuelos, clasificándolas de acuerdo con las siguientes categorías principales: equipo, personal, materiales, procedimientos y "otros factores" fuera del control de la gerencia. Proponga un conjunto detallado de causas para cada una de las causas principales que ha identificado la gerente de operaciones, e incorpórelo a su diagrama de causa y efecto.

22. Plastomer, Inc. se especializa en la fabricación de película de plástico de alta calidad para envolver productos alimenticios. Esta película se rechaza y se desecha por diversas razones (por ejemplo, opacidad, alto contenido de carbono, espesor o calibre incorrecto, rasguños, etcétera). Durante el mes pasado, la gerencia reunió datos sobre los tipos de rechazos registrados y la cantidad de material desperdiciado que genera cada uno de ellos. Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tipo de defecto	Cantidad de desperdicio (lb.)
Burbujas de aire	500
Roturas por burbujas	19,650
Contenido de carbono	150
Irregularidades	3,810
Grosor o calibre	27,600
Opacidad	450
Rasguños	3,840
Recorte	500
Arrugas	10,650

Trace un gráfico de Pareto para identificar el tipo de defecto que la gerencia debe tratar de eliminar primero.

23. La gerencia de una compañía envasadora de champú introdujo nuevas botellas de 13.5 onzas y para llenarlas utilizó una máquina que ya tenía, a la cual se le hicieron ciertas modificaciones. Para medir la uniformidad del rellenado con la máquina modificada (ajustada para llenar porciones de 13.85 onzas), un analista reunió los siguientes datos (volúmenes en onzas) a partir de una muestra aleatoria de 100 botellas.

13.0	13.3	13.6	13.2	14.0	12.9	14.2	12.9	14.5	13.5
14.1	14.0	13.7	13.4	14.4	14.3	14.8	13.9	13.5	14.3
14.2	14.1	14.0	13.9	13.9	14.0	14.5	13.6	13.3	12.9
12.8	13.1	13.6	14.5	14.6	12.9	13.1	14.4	14.0	14.4
13.1	14.1	14.2	12.9	13.3	14.0	14.1	13.1	13.6	13.7
14.0	13.6	13.2	13.4	13.9	14.5	14.0	14.4	13.9	14.6
12.9	14.3	14.0	12.9	14.2	14.8	14.5	13.1	12.7	13.9
13.6	14.4	13.1	14.5	13.5	13.3	14.0	13.6	13.5	14.3
13.2	13.8	13.7	12.8	13.4	13.8	13.3	13.7	14.1	13.7
13.7	13.8	13.4	13.7	14.1	12.8	13.7	13.8	14.1	14.3

a. Dibuje un histograma para representar estos datos.

b. Se considera que las botellas que contienen menos de 12.85 onzas o más de 14.85 onzas no se ajustan a las especificaciones. Con base en los datos de la muestra, ¿qué porcentaje de las botellas rellenadas por la máquina no se ajusta a las especificaciones?

PROBLEMAS AVANZADOS

24. Este problema debe resolverse como un ejercicio de trabajo en equipo.

Afeitarse es un proceso que la mayoría de los hombres realizan cada mañana. Suponga que el proceso empieza en el lavabo del baño cuando la persona que se va a afeitar camina (digamos que 1.5 metros [5 pies]) hasta el mueble (donde guarda los artículos de afeitar) para recoger el tazón, el jabón, la brocha y la navaja. Camina de regreso al lavabo, abre la llave del agua y espera hasta que ésta salga caliente, se enjabona la cara, se afeita y examina los resultados. Después, enjuaga la navaja, se seca la cara, camina hasta el mueble para guardar de nuevo el tazón, el jabón, la brocha y la navaja, y regresa al lavabo para limpiarlo y terminar el proceso.

a. Cree un gráfico para el proceso de afeitarse. (Suponga valores apropiados del tiempo que se necesita para llevar a cabo las distintas actividades incluidas en el proceso).

b. Organice una discusión para generar ideas sobre cómo mejorar el proceso de afeitarse. (No trate de evaluar las ideas hasta que el grupo haya reunido una lista que sea lo más completa posible. De lo contrario, el hecho mismo de juzgar las opiniones expresadas bloqueará la creatividad).

25. En Conner Company, fabricante de tarjetas electrónicas personalizadas con circuitos impresos, cada unidad terminada se somete a una inspección final antes de enviarla al cliente. Como gerente de control de calidad de Conner, usted tiene la responsabilidad de hacer una presentación ante la gerencia para explicar cuáles han sido los problemas de calidad, a principios de cada mes. Su asistente realizó un análisis de los memorandos correspondientes a todas las tarjetas de circuitos que se rechazaron durante el mes pasado. Después, le entregó un resumen donde se indica el número de referencia de cada tarjeta de circuitos y los motivos por los que fue rechazada, los que corresponden a alguna de las siguientes categorías:

A = Cobertura electrolítica insuficiente
B = Defectos en el proceso de laminado
C = Encobrado deficiente
D = Separación de placas
E = Deficiencias en el grabado

El resumen correspondiente a 50 tarjetas de circuitos que fueron rechazadas el mes pasado reveló lo siguiente:

C B C C D E C C B A D A C C C B C A C D C A C C B
A C A C B C C A C A A C C D A C C C E C C A B A C

a. Prepare una hoja de recuento (o lista de verificación) con las diferentes causas de los rechazos.

b. Cree un gráfico de Pareto para identificar los tipos de rechazo más significativos.

c. Examine las causas del tipo de defecto más significativo, usando un diagrama de causa y efecto.

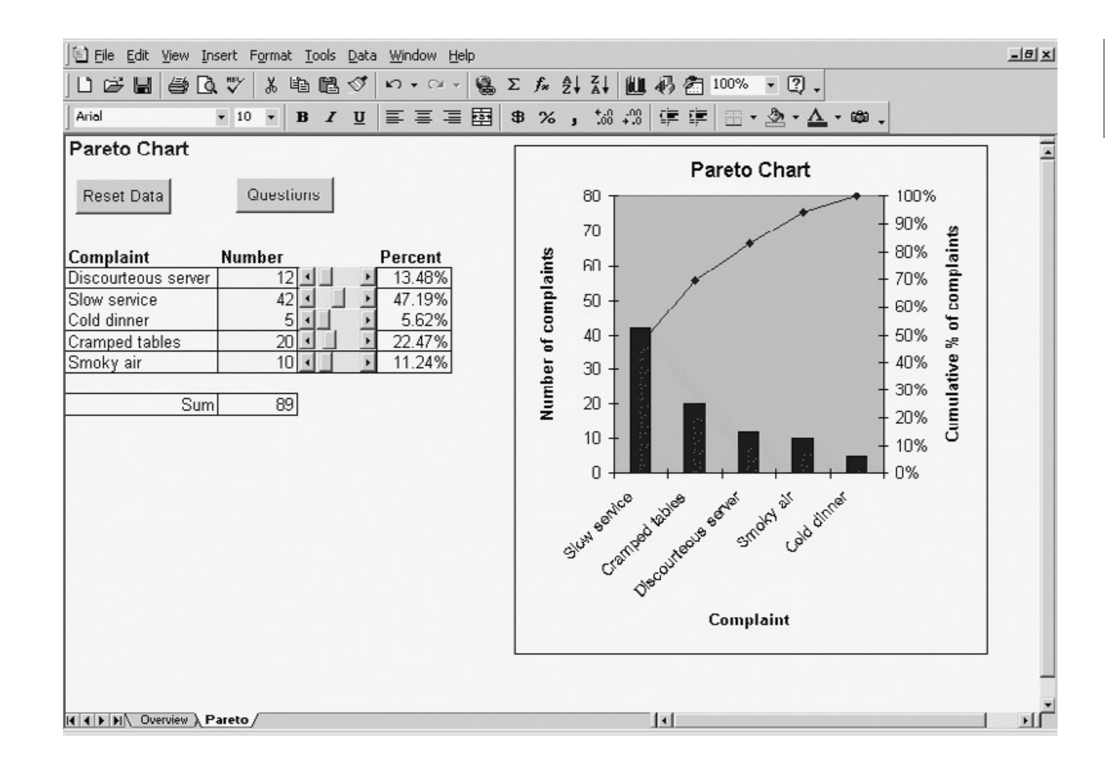
> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO <



Este Modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante (en inglés). Le permitirá evaluar la estructura de un gráfico de Pareto.

PREGUNTAS

1. ¿Qué porcentaje del total de defectos representa el servicio descortés?
2. ¿Qué porcentaje del total de defectos representan las tres quejas más comunes?
3. ¿Cómo se afectaría el gráfico si se pudiera eliminar el servicio descortés?



MODELO ACTIVO 5.1

Gráfico de Pareto creado con datos tomados del ejemplo 5.1

CASO

El restaurante auténticamente mexicano de José

"Dos tacos de frijoles, un burrito grande de pollo y una orden para acompañar de arroz español, por favor", dijo Iván Karetski al transmitir el pedido de una de sus mesas a la cocina, mientras preparaba las bebidas solicitadas. La actividad era intensa. A Karetski le gusta trabajar así. Muchos clientes significan muchas propinas y, como todo estudiante que lucha por mantenerse y pagar sus estudios, aprecia enormemente ese ingreso adicional. Sin embargo, las propinas han disminuido últimamente.

El restaurante de José ocupa un pequeño local con capacidad para 58 personas, donde se ofrece una variedad razonablemente amplia de platos mexicanos, preparados y presentados al estilo tradicional de México. Se localiza en un distrito de negocios maduro, en la periferia de una gran área metropolitana de Nueva Inglaterra. El local está junto a una arteria importante y ofrece espacio limitado de estacionamiento fuera de la calle. La decoración interior del restaurante promueve el tema mexicano: los muros parecen de adobe y están decorados con sarapes, el mobiliario es estilo español mexicano, y la guitarra flamenca y los mariachis alternan como música de fondo.

Los clientes entran en el restaurante por un pequeño vestíbulo que comunica directamente con el comedor; no hay un área de espera separada. A su llegada, los visitantes son recibidos por una anfitriona que los lleva directamente a sus mesas o les indica cuánto tendrán que esperar. Los clientes de José casi siempre encuentran lugar de inmediato, salvo los viernes y sábados por la noche, en que la espera puede prolongarse hasta 45 minutos. Como el espacio interior para quienes esperan es muy limitado, la clientela debe permanecer fuera del local mientras se desocupa alguna mesa. José no toma reservaciones.

Una vez que los clientes han ocupado sus lugares, la anfitriona reparte los menús y llena los vasos de agua. De acuerdo con las normas, el camarero asignado a la mesa debe saludar a los comensales a menos de un minuto de que éstos se sienten. (Por tratarse de un restaurante mexicano tradicional, todos los camareros son varones.) El camarero se presenta, anuncia las especialidades del día y anota las bebidas solicitadas. Después de llevar las bebidas a la mesa, el camarero anota los pedidos de alimentos.

El menú consta de 23 platos principales, preparados con ocho productos básicos (pollo, carne de res, frijoles, arroz, tortillas de maíz, tortillas de harina, tomates y lechuga) y otros ingredientes diversos (frutas, legumbres, salsas, hierbas y especias). Antes de las horas de las comidas, el cocinero prepara los productos básicos a fin de poder combinarlos y presentarlos rápidamente cuando tenga que servir los platos solicitados. El tiempo típico que se requiere para completar una comida, después de haber sido ordenada, es de 12 minutos. Buena parte de ese tiempo corresponde a los toques finales, de modo que varios alimentos pueden prepararse al mismo tiempo. Como es fácil suponer, una de las cualidades de un buen cocinero consiste en distribuir el programa de preparación de los diversos platos pedidos por una mesa, de modo que todos estén listos más o menos al mismo tiempo. Cuando el cocinero entrega todos los platos y complementos, el camarero los revisa para comprobar que coincidan con el pedido y sean agradables a la vista, corrige cualquier error y añade los toques finales. Si todo está en orden, coloca las viandas en una bandeja y las lleva a la mesa. A partir de ese momento, el camarero está al pendiente de la mesa para acudir en cuanto se requiera cualquier servicio o ayuda adicional.

Cuando los comensales de una mesa están a punto de terminar el plato principal, el camarero se aproxima, pregunta si puede retirar los platos vacíos y recibe los pedidos para los postres y el café. Cuando todos terminan de comer, el camarero les presenta la cuenta y, poco después, recoge el pago. José acepta dinero en efectivo y las principales tarjetas de crédito, pero no recibe cheques.

Karetski considera que su relación con el cocinero es importante. Debido a que este último controla en gran parte la calidad de los alimentos, Karetski desea estar en buenos términos con él. Por eso, lo trata con respeto, trata de ordenar los platos incluidos en su hoja de pedido de modo que aparezcan primero los que requieren un tiempo de preparación más largo y se asegura de escribir con claridad para facilitar la lectura de los pedidos. Aunque esto no forma parte de su trabajo, ayuda a llevar ingredientes del refrigerador al área de almacenamiento cuando el cocinero está ocupado, e incluso prepara algunos alimentos. El cocinero ha estado irritable últimamente y se queja de la mala calidad de algunos ingredientes que le han enviado. Por ejemplo, la semana pasada recibió lechugas bastante marchitas y pollo duro, con más hueso que carne. En las horas pico, pueden requerirse más de 20 minutos para que los alimentos solicitados lleguen satisfactoriamente a una mesa.

Karetski ha tenido oportunidad de ver los resultados de una encuesta realizada por la gerencia entre los clientes de las horas vespertinas, el viernes y el sábado pasados. La tabla siguiente es un resumen de las respuestas.

Resultados de la encuesta entre los clientes

¿Le asignaron la mesa con rapidez?	Sí 70	No 13
¿Le atendió bien el camarero?	Sí 73	No 10
¿Le sirvieron en un tiempo razonable?	Sí 58	No 25
¿Le gustaron los alimentos?	Sí 72	No 11
¿Considera que la cena valió el precio que pagó por ella?	Sí 67	No 16

Cuando llevaba la bandeja de bebidas a la mesa, Karetski se preguntó si la reciente disminución de las propinas no se debería a algún factor que él pudiera controlar.

PREGUNTAS

1. ¿Cómo debe definirse la calidad en este restaurante?
2. ¿Cuáles son los costos que paga el restaurante por la mala calidad?
3. Use alguna de las herramientas para el análisis de procesos y evalúe la situación que prevalece en el restaurante de José.

Fuente: Este caso fue preparado por Larry Meile, del Boston College, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, Merrill C., "Transforming Human Resources: Maximizing Value While Increasing Productivity", *National Productivity Review,* volumen 17, número 3, otoño de 2000, pp. 75–80.

Anupindi, Ravi, Sunil Chopra, Sudhakar D. Deshmukj, Jan A. Van Mieghem y Eitan Zemel, *Managing Business Process Flows*, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1999.

Banker, R. D., J. M. Field, R. G. Schroeder y K. K. Sinha, "Impact of Work Teams on Manufacturing Performance: A Longitudinal Field Study", *Academy of Management Journal*, volumen 39, número 4, 1996, pp. 867–890.

Collier, D. A., *The Service/Quality Solution*, Burr Ridge, IL, Irwin Professional Publishing, 1993.

Deming, W. Edwards, "Improvement of Quality and Productivity Through Action by Management", *National Productivity Review*, volumen 1, número 1, invierno 1981–1982, pp. 12–22.

Drucker, Peter F., "The Discipline of Innovation", *Harvard Business Review*, volumen 80, número 8, agosto de 2002, pp. 95–101.

Ellis, Christian M. y Lea A. P. Tonkin, "Mature Team Rewards and the High-Performance Workplace, Change and Opportunity", *Target*, volumen 11, número 6, 1995.

Fisher, Anne, "Get Employees to Brainstorm Online", *Fortune*, volumen 150, número 11, noviembre de 2004, p. 72.

Fitzsimmons, James A. y Mona J. Fitzsimmons, *Service Management, Operations, Strategy, and Information Technology*, Nueva York, McGraw-Hill, 1998.

Hartvigsen, David, *SimQuick, Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Iakovou, Eleftherios T. y Olga L. Oritz, "Reengineering of the Laundry Service at a University Campus, A Continuous-Improvement Quality-Management Methodology", *Quality Engineering*, volumen 16, número 2, 2004, pp. 245–255.

Karmarkar, Uday, "Will You Survive the Services Revolution?", *Harvard Business Review*, volumen 82, número 6, junio de 2004, pp. 100–107.

Katzenbach, Jon R. y Douglas K. Smith, "The Discipline of Teams", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1993, pp. 111–120.

Kingman-Brundage, Jane, "Technology, Design, and Service Quality", *International Journal of Service Industry Management*, volumen 2, número 3, 1991, pp. 47–59.

La Ferla, Beverly, "Mapping the Way to Process Improvement", *IEE Engineering Management*, diciembre de 2004–enero de 2005, pp. 16–17.

Lee, Hau L., "The Triple-A Supply Chain", *Harvard Business Review*, octubre de 2004, pp. 102–112.

Liebs, Scott, "A Little Help from Their Friends", *Industry Week*, 2 de febrero de 1998.

Lovelock, Christopher H. y George S. Yip, "Developing Global Strategies for Service Businesses", *California Management Review*, volumen 38, número 2, 1996, pp. 64–86.

Melnyk, Steven A., Douglas M. Stewart y Morgan Swink, "Metrics and Performance Measurement in Operations Management, Dealing with the Metrics Maze", *Journal of Operations Management*, volumen 22, número 3, junio de 2004, pp. 209–217.

Metters, Richard, Kathryn King-Metters y Madeleine Pullman, *Successful Service Operations Management*, Mason, OH, South-Western, 2003.

Pande, Peter S., Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh, *The Six Sigma Way*, Nueva York, McGraw-Hill, 2000.

"Process, Process, Process", *Planning Review*, número especial, volumen 22, número 3, 1993, pp. 1–56.

Pullman, Madeleine E. y William L. Moore, "Optimal Service Design, Integrating Marketing and Operations Perspectives", *International Journal of Service Industry Management*, volumen 10, número 2, 1999, pp. 239–260.

Rampersad, Hubert K., *Total Performance Scorecard*, Nueva York, Butterworth-Heinemann, 2003.

Rummler, Geary A. y Alan P. Brache, *Improving Performance*, 2a. edición, San Francisco, Jossey-Bass Inc., 1995.

Schmenner, Roger W., *Service Operations Management*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1998.

Senge, P., *The Fifth Discipline, The Art and Practice of the Learning Organization,* Nueva York, Doubleday, 1990.

Shapiro, Benson R., V. Kasturi Rangan y John J. Sviokla, "Staple Yourself to an Order", *Harvard Business Review*, volumen 82, número 7/8, julio-agosto de 2004, pp. 162–171.

B

SUPLEMENTO

Simulación

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este suplemento, usted podrá:

1. Identificar los problemas más adecuados para el uso de modelos de simulación.
2. Describir el proceso de simulación Monte Carlo.
3. Explicar cómo se crea un modelo de simulación y usarlo como ayuda para tomar una decisión.
4. Crear un modelo sencillo de simulación con una hoja de cálculo de Excel.
5. Describir las capacidades avanzadas de SimQuick y Extend.

El acto de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa los procesos de dicho sistema, se llama **simulación**. *Una vez que se ha desarrollado el modelo, el analista puede manipular ciertas variables para medir los efectos de los cambios introducidos en las características de operación de su interés. Ningún modelo de simulación puede dictaminar lo que se debe hacer ante un problema. En cambio, puede usarse con el fin de estudiar soluciones alternativas para tal problema. Las alternativas se utilizan sistemáticamente en el modelo y se registran las características pertinentes de su operación. Una vez que se han ensayado todas las alternativas, se selecciona la mejor.*

La simulación puede usarse para administrar procesos, así como cadenas de valor. Varios modelos de simulación ayudan a entender cómo se desempeña dinámicamente un proceso a través del tiempo y cómo funcionarán los procesos revisados. Algunos de los cambios en cuya evaluación se puede usar la simulación incluyen las ideas sobre el mejoramiento de la calidad, los cambios de capacidad dirigidos a aliviar los cuellos de botella, la distribución de un proceso, e incluso los cambios que resultan de la implementación de ideas sobre sistemas esbeltos; en efecto, todas las áreas de decisión que se cubren en la parte 2. La simulación también puede usarse para muchas de las decisiones relacionadas con la administración de las cadenas de valor (parte 3), como dónde colocar el inventario y en qué cantidades, o cómo funcionan los diferentes procedimientos de programación.

Los modelos de fila de espera (véase el suplemento C, "Filas de espera") no son modelos de simulación, porque des-



criben las características de operación por medio de ecuaciones conocidas. En una simulación, las ecuaciones que describen las características de operación se desconocen. Con un modelo de simulación, el analista tiene realmente la opción de generar llegadas de supuestos clientes, formarlos en filas de espera, aplicar alguna disciplina de prioridad para elegir al siguiente cliente que será atendido, brinda el servicio solicitado al cliente, y así sucesivamente. El modelo sigue la pista del número de personas formadas en la fila, el tiempo de espera y otros datos similares en el transcurso de la simulación, y calcula los promedios y varianzas al final.

RAZONES PARA USAR LA SIMULACIÓN

simulación
El acto de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa los procesos de dicho sistema.

La simulación es útil cuando los modelos de filas de espera se vuelven demasiado complejos. Existen otras razones por las que también se emplea una simulación para analizar los procesos. Primera, cuando la relación entre las variables no es lineal o cuando es necesario manejar demasiadas variables o restricciones con los métodos de optimización, se recurre a modelos de simulación con el fin de estimar las características de operación o los valores objetivos de las funciones y analizar un problema.

Segunda, los modelos de simulación pueden usarse para realizar experimentos sin perturbar el funcionamiento de los sistemas reales. Suele ser muy costoso hacer experimentos con un sistema real. Por ejemplo, un modelo de simulación es útil para estimar los beneficios derivados de la compra e instalación de un nuevo sistema de manufactura flexible, sin tener que instalar antes dicho sistema. Además, el mismo modelo podría servir para evaluar diferentes configuraciones o reglas de decisión de procesamiento, sin causar interrupciones en los programas de producción.

compresión del tiempo
La característica de los modelos de simulación que les permite obtener estimaciones de las características de operación en mucho menos tiempo del que se requiere para recopilar estos mismos datos de operación a partir de un sistema real.

Tercera, pueden usarse modelos de simulación para obtener estimaciones de las características de operación en mucho menos tiempo del que se requiere para recopilar estos mismos datos de operación a partir de un sistema real. Esta característica de la simulación se conoce como **compresión del tiempo**. Por ejemplo, con ayuda de una computadora, un modelo de simulación de las operaciones de un aeropuerto es capaz de generar estadísticas sobre la llegada de aviones, retrasos registrados en los aterrizajes y atrasos en las terminales, para todo un año en unos cuantos minutos. De este modo, es posible analizar otros diseños de aeropuerto y tomar decisiones rápidamente.

Por último, la simulación es útil para perfeccionar las habilidades de toma de decisiones administrativas por medio de juegos. Se puede desarrollar un modelo descriptivo que relacione las decisiones de la gerencia con características de operación importantes (por ejemplo, utilidades, participación de mercado y otras por el estilo). A partir de un conjunto de condiciones iniciales, los participantes toman decisiones periódicas con la intención de mejorar una o varias características de operación. En un ejercicio de ese tipo, bastan unas cuantas horas de "juego" para simular un año entero. El juego permite también que los gerentes experimenten con nuevas ideas sin interrumpir las operaciones normales.

EL PROCESO DE SIMULACIÓN

simulación Monte Carlo
Proceso de simulación que utiliza números aleatorios para generar los acontecimientos de la simulación.

El proceso de simulación incluye recopilación de datos, asignación de números aleatorios, formulación del modelo y análisis. Este proceso se conoce como **simulación Monte Carlo**, en alusión a la capital europea de los juegos de azar, por los números aleatorios que se utilizan para generar los acontecimientos de la simulación.

RECOLECCIÓN DE DATOS

La simulación requiere una extensiva obtención de datos acerca de costos, grados de productividad, capacidades y distribución de probabilidades. Típicamente, se utiliza uno de dos enfoques para la recolección de datos. Los procedimientos estadísticos de muestreo se usan cuando los datos no se obtienen fácilmente en fuentes publicadas o cuando el costo de su búsqueda y recolección es alto. La búsqueda histórica se usa cuando los datos necesarios están disponibles en registros de compañías, informes gubernamentales e industriales, publicaciones profesionales y científicas, o periódicos. En el ejemplo B.2 se presentan los datos que recopiló Specialty Steel.

Recopilación de datos para una simulación

EJEMPLO **B.1**

Specialty Steel Products Company produce, en pequeñas cantidades, artículos como: herramientas para máquinas, engranes, partes para automóviles y otros productos especializados, para atender los pedidos de sus clientes. En virtud de la gran diversidad de sus productos, la empresa mide la demanda en horas máquina. Los pedidos de productos se traducen en las horas máquina requeridas, de acuerdo con las normas de tiempo establecidas para cada operación. La gerencia está preocupada por la capacidad del departamento de torneado. Reúna los datos necesarios para analizar qué ocurriría si se añadiera un torno y el operario correspondiente.

SOLUCIÓN

Los registros históricos indican que la demanda del departamento de torneado varía de una semana a otra, como se indica a continuación:

Requisitos semanales de producción (h)	Frecuencia relativa
200	0.05
250	0.06
300	0.17
350	0.05
400	0.30
450	0.15
500	0.06
550	0.14
600	0.02
Total	1.00

Para recopilar estos datos, todas las semanas en las cuales se requirieron 175.00-224.99 horas se agruparon en la categoría de las 200 horas; todas las que requirieron 225.00-274.99 horas, en la categoría de 250 horas, y así sucesivamente. Los requisitos de producción semanal promedio del departamento de torneado son:

$$200(0.05) + 250(0.06) + 300(0.17) + \cdots + 600(0.02) = 400 \text{ horas}$$

Los empleados del departamento de torneado trabajan 40 horas por semana con 10 máquinas. Sin embargo, el número de máquinas que realmente funcionan en una semana cualquiera puede ser menor que 10. Es posible que una máquina necesite reparaciones o que un operario no se presente a trabajar. Los registros históricos indican que las horas máquina efectivas se distribuyeron en la siguiente forma:

Capacidad regular (h)	Frecuencia relativa
320 (8 máquinas)	0.30
360 (9 máquinas)	0.40
400 (10 máquinas)	0.30

El número promedio de horas que trabajan las máquinas en el curso de una semana es:

$$320(0.30) + 360(0.40) + 400(0.30) = 360 \text{ horas}$$

La compañía tiene la política de completar la carga de trabajo de cada semana según lo programado, recurriendo a tiempo extra y subcontratación si es necesario. La cantidad máxima de tiempo extra autorizado para una semana cualquiera es de 100 horas, y el trabajo requerido que excede de las 100 horas se subcontrata con un pequeño taller de maquinaria de la misma población. Los operadores de tornos ganan $10 por hora en el horario normal. Sin embargo, la gerencia estima que el costo del trabajo realizado en tiempo extra es de $25 por hora por empleado, lo cual incluye la prima sobre el salario que se paga por el tiempo extraordinario, los gastos generales variables y los costos de supervisión. La subcontratación cuesta $35 por hora, sin contar el costo de materiales.

Para justificar la adición de una máquina y un trabajador al departamento de torneado, los ahorros semanales por concepto de costos de tiempo extra y subcontratación tendrían que ser por lo menos de $650. Estos ahorros cubrirían el costo del trabajador adicional y producirían un rendimiento razonable de la inversión realizada en la compra de la má-

quina. Por experiencia, la gerencia estima que con 11 máquinas la distribución de la capacidad semanal en horas máquina sería la siguiente:

Capacidad regular (h)	Frecuencia relativa
360 (9 máquinas)	0.30
400 (10 máquinas)	0.40
440 (11 máquinas)	0.30

ASIGNACIÓN DE NÚMEROS ALEATORIOS

Antes de analizar este problema por medio de una simulación, debemos especificar la forma de generar demanda y capacidad cada semana. Supongamos que deseamos simular 100 semanas de operaciones de torneado con 10 máquinas. Podríamos esperar que el 5% del tiempo (5 de las 100 semanas) hubiera demanda suficiente para 200 horas. Asimismo, esperaríamos que el 30% del tiempo (30 de las 100 semanas) contáramos con 320 horas de capacidad existente con las 10 máquinas. Sin embargo, en nuestra simulación, no es posible usar estos promedios de demanda porque un sistema no funciona así en la vida real. La demanda puede ser de 200 horas una semana y aumentar a 550 horas la semana siguiente.

número aleatorio

Un número que tiene la misma probabilidad de ser seleccionado que cualquier otro número.

Para obtener el efecto deseado, se usa una tabla de números aleatorios para determinar las cantidades de demanda y capacidad correspondientes a cada semana. Se conoce como **número aleatorio** aquel que tiene la misma probabilidad de ser seleccionado que cualquier otro número (véase la tabla de números aleatorios en el apéndice 2, donde encontrará números aleatorios de cinco dígitos).

Los acontecimientos de una simulación se generan en forma totalmente libre de sesgos si se les asignan números aleatorios en proporción idéntica a sus respectivas probabilidades de producirse. Esperamos una demanda de 200 horas el 5% del tiempo. Si tenemos 100 números aleatorios (00-99), podemos asignar 5 números (o sea, 5% de ellos) al acontecimiento en el cual se tiene una "demanda de 200 horas". Así, podemos asignar los números 00-04 a ese acontecimiento. Si escogemos al azar números del rango 00-99 suficientes veces, el 5% de las veces los números escogidos estarán dentro del rango de 00-04. Asimismo, podemos asignar los números 05-10, o sea, 6% de los números, al acontecimiento "demanda de 250 horas". En la tabla B.1 vemos la distribución de los 100 números aleatorios entre los acontecimientos de demanda, en la misma proporción que sus respectivas probabilidades de ocurrir. De igual manera, asignamos números aleatorios a los acontecimientos de *capacidad* correspondientes a 10 máquinas. Los acontecimientos de capacidad

TABLA B.1 Asignaciones de números aleatorios a acontecimientos de simulación

Acontecimiento					
Demanda semanal (h)	Probabilidad	Número aleatorio	Capacidad semanal existente (h)	Probabilidad	Números aleatorios
200	0.05	00–04	320	0.30	00–29
250	0.06	05–10	360	0.40	30–69
300	0.17	11–27	400	0.30	70–99
350	0.05	28–32			
400	0.30	33–62			
450	0.15	63–77			
500	0.06	78–83			
550	0.14	84–97			
600	0.02	98–99			

para una simulación con 11 máquinas tendrían las mismas asignaciones de números aleatorios, salvo que los acontecimientos serían 360, 400 y 440 horas, respectivamente.

FORMULACIÓN DEL MODELO

Para la formulación de un modelo de simulación, es necesario especificar las relaciones entre las variables. Los modelos de simulación consisten en variables de decisión, variables incontrolables y variables dependientes. La persona que toma las decisiones controla las **variables de decisión**, que suelen cambiar de uno a otro ejercicio, a medida que se simulan diferentes acontecimientos. Por ejemplo, el número de tornos es la variable de decisión en el problema de Specialty Steel Productos presentado en el ejemplo B.1. Sin embargo, las **variables incontrolables** son acontecimientos fortuitos que escapan al control de quienes toman las decisiones. En Specialty Steel Products, los requisitos semanales de producción y el número *real* de horas máquina disponibles son variables incontrolables en el análisis de simulación. Las variables dependientes reflejan los valores de las variables de decisión y de las variables incontrolables. En Specialty Steel Products, las características de operación, como el tiempo ocioso, el tiempo extra y las horas subcontratadas, son variables dependientes.

Las relaciones entre las variables se expresan en términos matemáticos, de modo que las variables dependientes puedan calcularse para cualquier valor de las variables de decisión y de las variables incontrolables. Por ejemplo, en el modelo de simulación de Specialty Steel Products, los métodos para determinar los requisitos semanales de producción y la disponibilidad de capacidad real deberán especificarse primero. Los métodos para computar las horas de ocio, el tiempo extra y las horas subcontratadas para los valores de los requisitos de producción y las horas de capacidad, se especifican después.

variables de decisión

Variables que controla la persona que toma las decisiones, mismas que suelen cambiar de uno a otro ejercicio, a medida que se simulan diferentes acontecimientos.

variables incontrolables

Acontecimientos fortuitos que escapan al control de quienes toman las decisiones.

Formulación de un modelo de simulación — EJEMPLO B.2

Formule un modelo de simulación para Specialty Steel Products que permita estimar las horas de ocio, el tiempo extra de trabajo y las horas subcontratadas, para un número específico de tornos. Diseñe el modelo de simulación de manera que finalice después de haber simulado 20 semanas de operaciones del departamento de torneado.

SOLUCIÓN

Se usarán las dos primeras filas de números aleatorios contenidos en la tabla correspondiente para describir los acontecimientos de demanda, y la tercera y cuarta filas para los acontecimientos referentes a la capacidad (véase la tabla de números aleatorios en el apéndice 2). Puesto que se trata de números de cinco dígitos, se usarán únicamente los dos primeros dígitos de cada número para formar los números aleatorios. La selección de las filas en la tabla de números aleatorios fue arbitraria. Lo importante es ser consistentes en el orden en el que se extraen los números aleatorios y no repetir ningún número en una misma simulación.

Para simular un nivel de capacidad en particular, se procederá de la siguiente forma:

Paso 1: Extraiga un número aleatorio de las dos primeras filas de la tabla. Comience con el primer número de la primera fila, continúe con el segundo número de la primera fila, y así sucesivamente.

Paso 2: Encuentre el intervalo de números aleatorios correspondiente a los requisitos de producción asociados al número aleatorio.

Paso 3: Tome nota de las horas de producción (PROD) que se requerirán para la semana en curso.

Paso 4: Tome otro número aleatorio de la fila tres o cuatro de la tabla. Empiece con el primer número de la fila tres, continúe con el segundo número de la fila tres, y así sucesivamente.

Paso 5: Encuentre el intervalo de números aleatorios correspondiente a la (CAP) asociada al número aleatorio.

Paso 6: Tome nota de las horas de capacidad disponibles para la semana en curso.

Paso 7: Si CAP $\geq$ PROD, entonces H OCIO = CAP – PROD.

Paso 8: Si CAP < PROD, entonces FALTANTE = PROD – CAP.
Si FALTANTE $\leq$ 100, entonces T EXTRA = FALTANTE y H SUBCONTRAT = 0.
Si FALTANTE > 100, entonces T EXTRA = 100 y H SUBCONTRAT = FALTANTE – 100.

Paso 9: Repita los pasos 1 a 8 hasta que haya simulado 20 semanas en total.

ANÁLISIS

La tabla B.2 contiene las simulaciones correspondientes a las dos alternativas de capacidad disponible en Specialty Steel Products. Se ha usado una secuencia única de números aleatorios para representar los requisitos de producción semanal correspondientes a cada una de las alternativas de capacidad, y otra secuencia para la capacidad semanal existente, a fin de establecer una comparación directa entre ambas alternativas de capacidad.

Tomando como base las simulaciones de 20 semanas, es lógico esperar que el promedio de tiempo extra semanal (41.5 y 29.50) se reduzca en 41.5 – 29.5 = 12 horas y que las horas subcontratadas (18.0 y 10.0) se reduzcan en 18 – 10 = 8 horas por semana. En ese caso, los ahorros semanales promedio serían de:

Tiempo extra: (12 horas)($25/horas) = $300

Subcontratación: (8 horas) ($35/horas) = 280

Ahorro total por semana = $580

Esta cantidad es menor que el ahorro mínimo requerido de $650 por semana. ¿Significa esto que no se debe agregar la máquina ni el trabajador? Antes de responder, se examinará la tabla B.3, que muestra los resultados de una simulación de *1000 semanas* para cada alternativa. Los costos (1,851.50 y 1,159.50) son muy diferentes de los que aparecen en las simulaciones de 20 semanas. Ahora los ahorros calculados son de $1851.50 – $1159.50 = $692 y rebasan la suma mínima de

TABLA B.2 Simulaciones de alternativas durante 20 semanas

				10 Máquinas				11 Máquinas			
Semana	Número aleatorio de la demanda	Producción semanal (h)	Número aleatorio de la capacidad	Capacidad semanal existente (h)	Horas de ocio	Tiempo extra	Horas subcontratadas	Capacidad semanal existente (h)	Horas de ocio	Tiempo extra	Horas subcontratadas
1	71	450	50	360		90		400		50	
2	68	450	54	360		90		400		50	
3	48	400	11	320		80		360		40	
4	99	600	36	360		100	140	400		100	100
5	64	450	82	400		50		440		10	
6	13	300	87	400	100			440	140		
7	36	400	41	360		40		400			
8	58	400	71	400				440	40		
9	13	300	00	320	20			360	60		
10	93	550	60	360		100	90	400		100	50
11	21	300	47	360	60			400	100		
12	30	350	76	400	50			440	90		
13	23	300	09	320	20			360	60		
14	89	550	54	360		100	90	400		100	50
15	58	400	87	400				440	40		
16	46	400	82	400				440	40		
17	00	200	17	320	120			360	160		
18	82	500	52	360		100	40	400		100	
19	02	200	17	320	120			360	160		
20	37	400	19	320		80		360		40	
				Total	490	830	360		890	590	200
				Promedio semanal	24.5	41.5	18.0		44.5	29.5	10.0

TABLA B.3 Comparación de simulaciones de 1000 semanas

	10 Máquinas	11 Máquinas
Horas de ocio	26.0	42.2
Tiempo extra	48.3	34.2
Horas subcontratadas	18.4	8.7
Costo	$1,851.50	$1,159.50

ahorros requeridos para la inversión adicional. Este resultado subraya la importancia de elegir la duración apropiada para cada análisis de simulación. Se pueden emplear pruebas estadísticas para comprobar que la duración sea adecuada.

El análisis de simulación se puede considerar como un método para ensayar hipótesis, en el cual los resultados de una partida de simulaciones proporcionan datos de muestra que pueden analizarse estadísticamente. Los datos se registran y comparan con los resultados de otras partidas de simulación. También es posible llevar a cabo pruebas estadísticas a fin de determinar si las diferencias observadas en las características de operación alternativas resultan significativas en términos estadísticos.

Aun cuando una diferencia entre experimentos de simulación sea estadísticamente significativa, puede no serlo desde el punto de vista *administrativo*. Por ejemplo, suponga que se ha construido un modelo para simular las operaciones de un centro de lavado de automóviles. Al cambiar la velocidad del lavado de autos, de 3 a 2.75 minutos por vehículo, tal vez se descubra que es posible reducir el tiempo promedio de espera por cliente en 0.20 minutos. Si bien ésta es una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo promedio de espera, la diferencia es tan pequeña que quizá los clientes ni siquiera la adviertan. Con frecuencia, hace falta criterio para decidir lo que es administrativamente significativo.

> SIMULACIÓN POR COMPUTADORA <

La simulación manual del proceso de torneado de los ejemplos B.1 y B.2 demuestra los conceptos básicos de la simulación. Sin embargo, ésta abarca solamente un paso del proceso, dos variables incontrolables (los requisitos semanales de producción y el número real de horas máquina disponible) y 20 periodos. Es importante simular un proceso que sea suficientemente largo para alcanzar un **estado estable**, de modo que si la simulación se repite a través del tiempo suficiente, los resultados promedio de las mediciones de desempeño permanecen constantes. Las simulaciones manuales pueden consumir demasiado tiempo, en especial si incluyen muchos subprocesos, muchos servicios o productos con patrones únicos de flujo, muchas variables incontrolables, lógica compleja para liberar los nuevos puestos y asignar trabajo, y cosas por el estilo.

estado estable
Estado que se presenta cuando la simulación se repite a través del tiempo suficiente para que los resultados promedio de las mediciones de desempeño permanezcan constantes.

La simulación manual de estas situaciones reales puede consumir mucho tiempo y, por tanto, requiere el uso de una computadora. En Excel se pueden crear modelos de simulación sencillos (es decir, con una o dos variables incontrolables). La capacidad de este programa para generar números aleatorios, aunada con la adición de fórmulas en otras partes de la hoja de cálculo para especificar las relaciones entre la demanda, el cliente atendido, el inventario y la producción, permiten implementar el método de simulación Monte Carlo. El software comercial previamente escrito para crear modelos de simulación ofrece más potencia de cómputo.

SIMULACIÓN CON HOJAS DE CÁLCULO DE EXCEL

El punto de partida para crear una simulación en Excel es la generación de números aleatorios, el equivalente computarizado de usar el apéndice 2 para las simulaciones manuales. Igualmente importante es la asignación de números aleatorios, que traduce un número aleatorio en el valor de una variable incontrolable.

Generación de números aleatorios Para crear números aleatorios del 0 al 1, introduzca la fórmula =ALEATORIO() en una celda de la hoja de cálculo de Excel. Esta fórmula se copia a otras celdas de la hoja de cálculo según sea necesario. La figura B.1 muestra una tabla de 100 números aleatorios generados con la función ALEATORIO() en el rango A3:J12. Se les aplicó formato para mostrar números de cuatro dígitos, aunque el formato se puede cambiar como se desee. Estos números aleatorios son fracciones que van del 0 al 1, en lugar de los números enteros de dos dígitos, del 0 al 99, que se presentan en la tabla B.1. Si trata de duplicar la figura B.1, o vuelve a abrir un

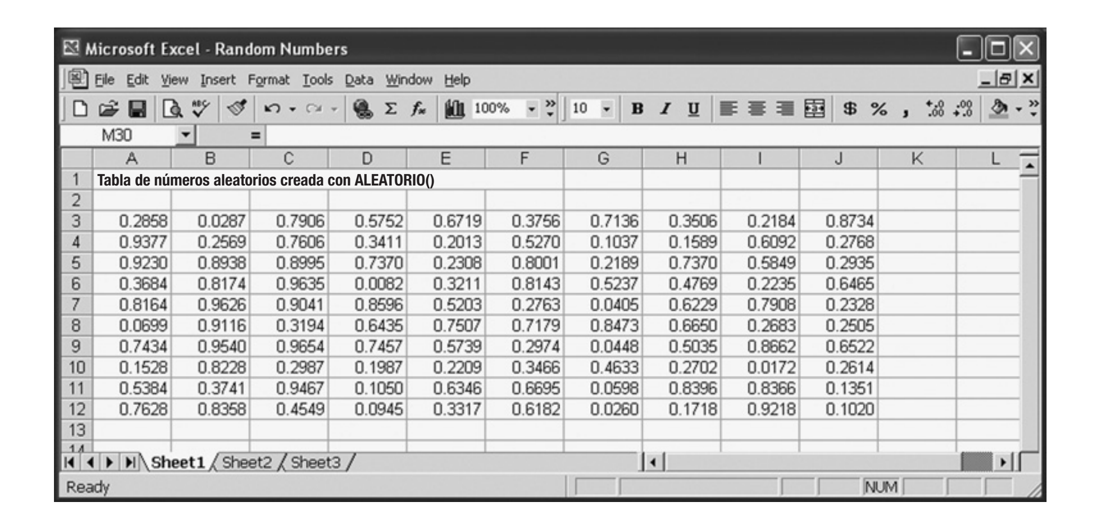


Tabla de números aleatorios creada con ALEATORIO()

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
3	0.2858	0.0287	0.7906	0.5752	0.6719	0.3756	0.7136	0.3506	0.2184	0.8734
4	0.9377	0.2569	0.7606	0.3411	0.2013	0.5270	0.1037	0.1589	0.6092	0.2768
5	0.9230	0.8938	0.8995	0.7370	0.2308	0.8001	0.2189	0.7370	0.5849	0.2935
6	0.3684	0.8174	0.9635	0.0082	0.3211	0.8143	0.5237	0.4769	0.2235	0.6465
7	0.8164	0.9626	0.9041	0.8596	0.5203	0.2763	0.0405	0.6229	0.7908	0.2328
8	0.0699	0.9116	0.3194	0.6435	0.7507	0.7179	0.8473	0.6650	0.2683	0.2505
9	0.7434	0.9540	0.9654	0.7457	0.5739	0.2974	0.0448	0.5035	0.8662	0.6522
10	0.1528	0.8228	0.2987	0.1987	0.2209	0.3466	0.4633	0.2702	0.0172	0.2614
11	0.5384	0.3741	0.9467	0.1050	0.6346	0.6695	0.0598	0.8396	0.8366	0.1351
12	0.7628	0.8358	0.4549	0.0945	0.3317	0.6182	0.0260	0.1718	0.9218	0.1020

FIGURA B.1

Hoja de cálculo con 100 números aleatorios generados con ALEATORIO( )

archivo de Excel creado y guardado con anterioridad, verá un conjunto diferente de números aleatorios. Para usar exactamente el mismo conjunto o *sucesión* de números aleatorios (por ejemplo, en experimentos para comparar la eficacia de diferentes políticas), debe *inmovilizar* los números aleatorios. Primero, seleccione con el ratón las celdas que contienen los números aleatorios que desee inmovilizar. Por ejemplo, abarque A3:J12 en la figura B.1. A continuación, haga clic en Edición/Copiar en el menú de la parte superior de la hoja de cálculo. En seguida, haga clic en Edición/Pegado especial y elija la opción Valores. Cuando haga clic en Aceptar, una copia de los números contenidos en esas celdas se pegará encima de las mismas celdas con las fórmulas =ALEATORIO() en ellas. El resultado es que los valores están fijos en su lugar y no cambian de un uso de la hoja de cálculo al siguiente. Cada simulación se realiza con la misma sucesión de números aleatorios. De hecho, los números de la figura B.1 se inmovilizaron usando este procedimiento.

Asignación de números aleatorios Una segunda capacidad que se necesita para realizar simulaciones en Excel es traducir los números aleatorios en valores de las variables incontrolables. Es el equivalente de identificar el intervalo de números aleatorios en el que cae un número aleatorio y seleccionar después el valor de la variable incontrolable asignada a dicho intervalo (véanse las variables de demanda o capacidad en la tabla B.1). En una hoja de cálculo de Excel, la característica Buscar cumple este propósito. Lea sobre la función BUSCARV() en los temas de ayuda de Excel. Para usar la función, seleccione Insertar/Función/Búsqueda y referencia/BUSCARV. El ejemplo B.3 demuestra el uso de las funciones BUSCARV() y ALEATORIO().

EJEMPLO B.3 Modelo de simulación de Excel para el distribuidor de automóviles BestCar

La distribuidora de automóviles BestCar vende autos nuevos. El gerente de la agencia BestCar cree que el número de automóviles vendidos por semana tiene la siguiente distribución de probabilidades:

Ventas semanales (autos)	Frecuencia relativa (probabilidad)
0	0.05
1	0.15
2	0.20
3	0.30
4	0.20
5	0.10
Total	1.00

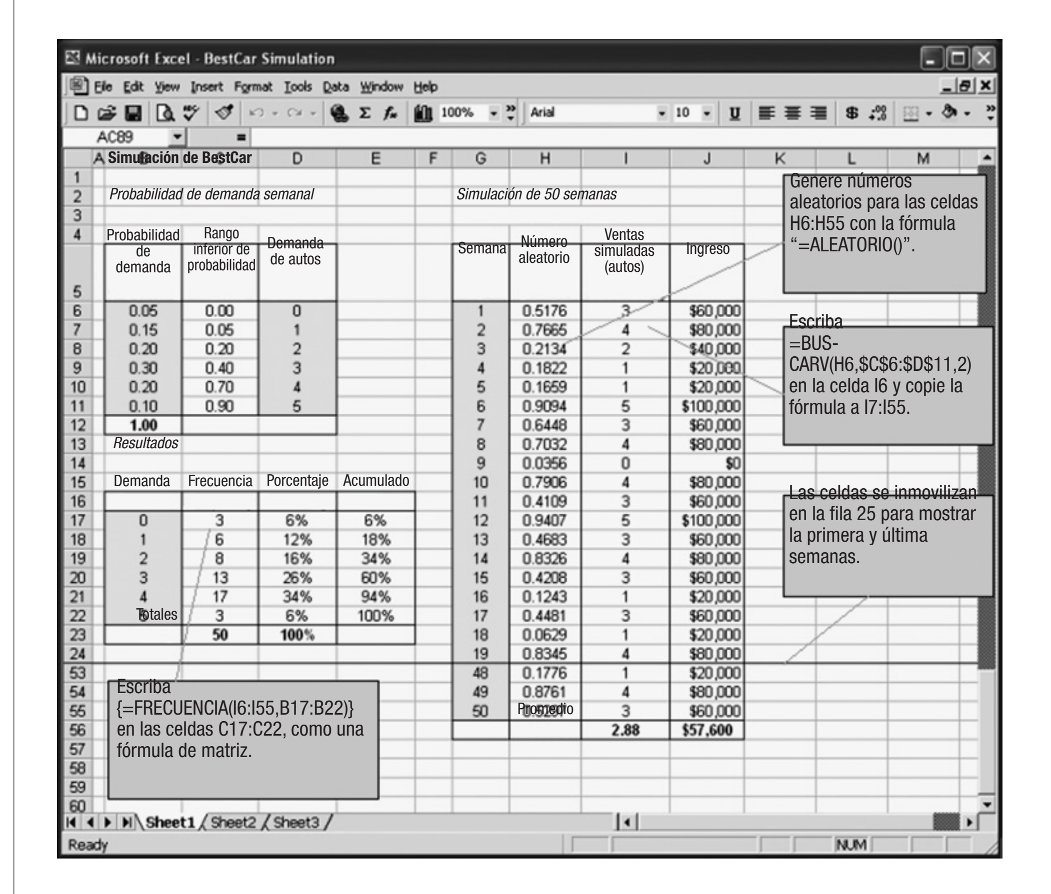
El precio de venta de cada automóvil es de $20,000. Diseñe un modelo de simulación que determine la distribución de las probabilidades y la media de las ventas semanales.

SOLUCIÓN

La figura B.2 simula 50 semanas de ventas en BestCar. Una corrida más larga, por ejemplo, de 500 o 1,000 semanas, sería prudente, pero aquí se hace en pequeña escala para efectos de demostración. La parte inferior derecha de la hoja de cálculo muestra que el promedio de ventas semanales es de 2.88 autos, por $57,600 a la semana. La distribución de la demanda semanal simulada se muestra en las celdas B17:E22. Por ejemplo, en 13 de las 50 semanas hubo una demanda de 3 automóviles, que representan el 26% de las semanas (véase la celda D20). La probabilidad de que las ventas no asciendan a más de 3 autos es de 60% (véase la celda E20).

El primer paso para crear esta hoja de cálculo es introducir la distribución de las probabilidades, incluidas las probabilidades acumuladas asociadas. Estos valores de entrada se resaltan en gris en las celdas B6:B11 de la hoja de cálculo, con las demandas correspondientes en D6:D11. Para calcular el rango inferior de probabilidades acumuladas en las celdas C6:C11, se introduce 0 en C6 y después se introduce la fórmula "=C6+B6" en la celda C7 y se copia a las celdas C8:C11. Los valores acumulados proporcionan la base para asociar números aleatorios a la demanda correspondiente, usando la función BUSCARV(). Por ejemplo, el primer número aleatorio para la semana 1 tiene el valor 0.5176 y produce una demanda de 3 automóviles, porque 0.5176 es mayor que el rango inferior de la demanda de 3 autos, pero menor que el rango inferior de la demanda de 4 automóviles. Del mismo modo, cualquier número aleatorio con un valor mayor que 0.70, pero menor que 0.90, corresponderá a una demanda de 4 automóviles.

El siguiente paso consiste en crear una tabla con cuatro columnas. La columna G identifica a cada una de las 50 semanas que se simularán en las celdas G6:G55. La columna H genera los números aleatorios, uno por cada una de las 50 semanas. Para crear los números aleatorios, se introduce la fórmula "=ALEATORIO()" en la celda H6 de la hoja de cálculo y después se copia a las celdas H7:H55. Después de generar los números aleatorios, es necesario relacionar estos números con los valores correspondientes de demanda. Para ello, se usa la función BUSCARV. Se introduce la fórmula "=BUSCARV(H6,$C$6:$D$11,2)" en la celda I6 y se copia a I7:I55. Con este uso de la función BUSCARV, la lógica de Excel identifica (o "busca") en la matriz de búsqueda definida por $C$6:$D$11 a qué demanda corresponde el número aleatorio de cada semana (en la columna H). Una vez que encuentra el rango de probabilidades (definido por la columna C) en el que encaja el número aleatorio, asienta la demanda de automóviles (en la columna D) correspondiente a este rango en las ventas de las semana (en la columna I). Cuando la función busca en la matriz, baja por la colum-



Probabilidad de demanda	Rango inferior de probabilidad	Demanda de autos
0.05	0.00	0
0.15	0.05	1
0.20	0.20	2
0.30	0.40	3
0.20	0.70	4
0.10	0.90	5
1.00		

Demanda	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
0	3	6%	6%
1	6	12%	18%
2	8	16%	34%
3	13	26%	60%
4	17	34%	94%
5	3	6%	100%
Totales	50	100%	

Semana	Número aleatorio	Ventas simuladas (autos)	Ingreso
1	0.5176	3	$60,000
2	0.7665	4	$80,000
3	0.2134	2	$40,000
4	0.1822	1	$20,000
5	0.1659	1	$20,000
6	0.9094	5	$100,000
7	0.6448	3	$60,000
8	0.7032	4	$80,000
9	0.0356	0	$0
10	0.7906	4	$80,000
11	0.4109	3	$60,000
12	0.9407	5	$100,000
13	0.4683	3	$60,000
14	0.8326	4	$80,000
15	0.4208	3	$60,000
16	0.1243	1	$20,000
17	0.4481	3	$60,000
18	0.0629	1	$20,000
19	0.8345	4	$80,000
48	0.1776	1	$20,000
49	0.8761	4	$80,000
50	0.5320	3	$60,000
	Promedio	2.88	$57,600

FIGURA B.2
Modelo de simulación de BestCar

na C hasta que encuentra una celda que tenga un valor mayor que el número aleatorio. Regresa a la celda anterior, obtiene el valor de demanda correspondiente en la columna D y lo devuelve a la celda en la columna I. La columna de ingresos semanales es la cuarta columna de la tabla de simulación, creada en las celdas J6:J55, multiplicando los valores de demanda semanal (columna I) por el precio de venta promedio ($20 000). El promedio de ventas de autos se calcula en la celda I56 usando la función =PROMEDIO(I6:I55), y el promedio de ingresos en la celda J56 usando la función =PROMEDIO(J6:J55). Observe que la figura B.2 sólo muestra las primeras 19 semanas y las últimas 3 semanas. Esta compresión es posible si se usa la opción Ventana/Inmovilizar paneles. Aquí, la ventana está inmovilizada hasta la semana 19 (al principio de la fila 25). Desplácese hacia abajo o hacia arriba para mostrar algunas de las últimas semanas o la mayoría de ellas, dependiendo de cuánto desee visualizar.

Por último, la tabla de resultados se crea en la parte inferior izquierda de la hoja de cálculo para resumir los resultados de la simulación. Se introduce la función FRECUENCIA en las celdas C17:C22 para calcular el número de observaciones en cada categoría de demanda, de un total de 50 observaciones. La función examina los valores de demanda simulada en las celdas I6:I55 y los compara con las categorías de demanda en las celdas B17:B22, que se definen como la matriz de la función FRECUENCIA. Las columnas Porcentaje y Acumulado, al lado de la columna Frecuencia, muestran las frecuencias en términos de porcentajes y porcentajes acumulados.

SIMULACIÓN CON SOFTWARE MÁS AVANZADO

La programación de software para realizar simulaciones se realiza en una variedad de lenguajes de computación, incluso en lenguajes de programación para propósito general, como VISUAL BASIC, FORTRAN o C^{++}. La ventaja de los lenguajes de programación de propósito general es que están disponibles en la mayoría de los sistemas de computación. También existen lenguajes especiales para simulación, como GPSS, SIMSCRIPT y SLAM. Estos lenguajes simplifican la programación porque cuentan con macroinstrucciones que facilitan la ejecución de los elementos de uso más frecuente en los modelos de simulación. Dichas macroinstrucciones contienen automáticamente las instrucciones necesarias para que la computadora genere llegadas, dé seguimiento a las filas de espera y calcule las estadísticas referentes a las características de operación de un sistema.

La simulación también es posible con paquetes potentes basados en PC, como SimQuick (www.nd.edu/~dhartvig/simquick/top.htm), Extend (www.imaginethatinc.com), SIMPROCESS (www.caciasl.com), ProModel (www.promodel.com) y Witness (www.lanner.com/corporate). Aquí se ilustra la simulación de procesos con el software SimQuick (incluido en el CD-ROM del estudiante).

SimQuick SimQuick es un paquete fácil de usar que consiste simplemente en una hoja de cálculo de Excel con algunas macros. Se pueden crear modelos para una variedad de procesos sencillos, como filas de espera, control de inventarios y proyectos. Aquí se considera el proceso de seguridad de los pasajeros en una terminal de un aeropuerto de tamaño mediano, entre las 8 y las 10 de la mañana. El proceso funciona como sigue: los pasajeros que llegan al área de seguridad se forman de inmediato en una sola fila. Después de hacer cola, cada pasajero llega a uno de dos puestos de inspección, lo que implica cruzar por un detector de metales y pasar el equipaje de mano por un escáner. Después de concluir la inspección, se selecciona al azar 10% de los pasajeros para someterlos a una inspección adicional, que típicamente consiste en un registro más minucioso del equipaje de mano de la persona. Dos puestos manejan esta inspección adicional, y los pasajeros seleccionados pasan sólo por una de ellas. A la gerencia le interesa examinar el efecto de aumentar el porcentaje de pasajeros que son sometidos a la segunda inspección. En particular, quieren comparar los tiempos de espera para la segunda inspección cuando 10%, luego 15% y después 20% de los pasajeros son seleccionados aleatoriamente para esta inspección. La gerencia también desea saber cómo afectaría a estos tiempos de espera el establecimiento de un tercer puesto para la segunda inspección.

El primer paso para simular este proceso con SimQuick es trazar un diagrama de flujo del proceso usando los componentes básicos de SimQuick. SimQuick tiene cinco componentes básicos que pueden combinarse en una amplia variedad de formas. Cuatro de estos tipos se usan para crear el modelo de este proceso. Se usa una *entrada* para modelar la llegada de los pasajeros al proceso de seguridad. Se usa una *barrera* como modelo de cada una de las dos filas de espera, una antes de cada tipo de inspección, así como los pasajeros que han finalizado el proceso. Cada uno de los cuatro puestos de inspección se modela con una *estación de trabajo*. Por último, la selección aleatoria de pasajeros para la segunda inspección se modela con un *punto de decisión*. La figura B.3 muestra el diagrama de flujo.

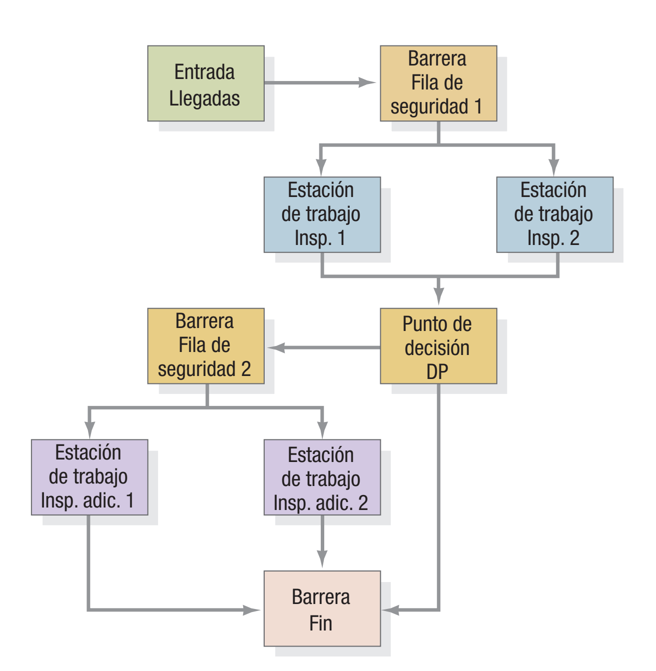


FIGURA B.3

Diagrama de flujo del proceso de inspección de pasajeros en el área de seguridad

La información que describe cada componente básico se introduce en las tablas de SimQuick. En este modelo, se introducen tres tipos fundamentales de información: (1) cuándo llega la gente a la entrada; (2) cuánto tiempo tardan las inspecciones en las cuatro estaciones, y (3) qué porcentaje de los pasajeros se selecciona aleatoriamente para la inspección adicional. Toda esta información debe introducirse en SimQuick en la forma de distribuciones estadísticas. Para determinar los primeros dos tipos de información se observa el proceso real de las 8 a las 10 de la mañana. El tercer tipo de información es una decisión de política (10%, 15% o 20%).

El modelo original se corre 30 veces, simulando el horario de 8 a 10 de la mañana. SimQuick recopila las estadísticas y las resume. La figura B.4 presenta algunos resultados importantes del modelo del proceso presente, tal como los produjo SimQuick (se recopilan muchos otros datos estadísticos, pero no se muestran aquí).

Las cifras presentadas son promedios de las 30 simulaciones. El número 237.23 es el número promedio de pasajeros que se forman en la fila 1 durante las dos horas simuladas. Las dos estadísticas de inventario medio indican que, en promedio, 5.97 pasajeros simulados estaban formados en la fila 1 y 0.10 en la fila 2. Las dos estadísticas del tiempo medio de ciclo indican que los pasajeros simulados de la fila 1 esperaron en promedio 3.12 minutos, mientras que los que estaban en la fila 2 esperaron 0.53 minutos. La estadística del inventario final indica que, en promedio, 224.57 pasajeros simulados pasaron por el proceso de seguridad en las dos horas simuladas. El siguiente paso consiste en cambiar el porcentaje de pasajeros simulados seleccionados para la segunda inspección a 15%, y después a 20%, y volver a ejecutar el modelo. Por supuesto, estos cambios en el proceso aumentarán el tiempo promedio de espera para la segunda inspección, pero, ¿cuánto? El último paso es volver a ejecutar estas simulaciones con una estación de trabajo más y ver el efecto que produce en el tiempo de espera para la segunda inspección. Todos los detalles de este modelo (así

Tipos de elementos	Nombres de los elementos	Estadísticas	Medias totales
Entrada(s)	Puerta	Objetos que entran al proceso	237.23
Barrera(s)	Fila 1	Inventario medio	5.97
		Tiempo medio de ciclo	3.12
	Fila 2	Inventario medio	0.10
		Tiempo medio de ciclo	0.53
	Fin	Inventario final	224.57

FIGURA B.4

Resultados de la simulación del proceso de inspección de pasajeros en el área de seguridad

como de muchos otros) aparecen en el libro *SimQuick: Process Simulation with Excel*, que se incluye, junto con el software SimQuick, en el CD-ROM que acompaña este libro de texto.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS)

TEl CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este suplemento.

TÉRMINOS CLAVE

compresión del tiempo 188
estado estable 193
número aleatorio 190
simulación 188
simulación Monte Carlo 188
variables de decisión 191
variables incontrolables 191

PROBLEMA RESUELTO

Un gerente estudia la posibilidad de fabricar varios productos en una instalación automatizada. Para eso tendría que comprar una combinación de dos robots. Trabajando en serie, los dos robots (llamados Mel y Danny) son capaces de realizar todas las operaciones requeridas. Cada lote de trabajo contendrá 10 unidades. Frente a Mel se formará una fila de espera de varios lotes. Cuando Mel termine su parte del trabajo, el lote se transferirá directamente a Danny.

Fila de espera → Mel → Danny

Cada robot requiere un tiempo de preparación para que esté en condiciones de procesar un lote. Todas las unidades del lote necesitan el mismo tiempo de procesamiento. Las distribuciones de los tiempos de preparación y procesamiento de Mel y Danny son idénticas. Sin embargo, como cada uno realizará operaciones diferentes, la simulación de cada lote requiere cuatro números aleatorios tomados de la tabla. El primer número aleatorio define el tiempo de preparación de Mel, el segundo determina el tiempo que Mel tarda en procesar cada unidad, y el tercero y el cuarto corresponden, respectivamente, a los tiempos de preparación y procesamiento de Danny.

Tiempo de preparación (min)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento por unidad (seg)	Probabilidad
1	0.10	5	0.10
2	0.20	6	0.20
3	0.40	7	0.30
4	0.20	8	0.25
5	0.10	9	0.15

Estime cuántas unidades se producirán en una hora. Después, simule 60 minutos de operación de Mel y Danny. Los números aleatorios ya se han seleccionado en la tabla B.4 para cada una de las cuatro variables incontrolables. Por ejemplo, la tercera columna contiene los números aleatorios para determinar el tiempo de preparación de Mel para cada lote, y la quinta columna presenta los números aleatorios para definir los tiempos de procesamiento de Mel.

SOLUCIÓN

Salvo por el tiempo requerido para la preparación de Mel y el procesamiento del primer lote, supondremos que los dos robots funcionan simultáneamente. El tiempo de preparación promedio esperado por lote es:

$$[(0.1 \times 1 \text{ min}) + (0.2 \times 2 \text{ min}) + (0.4 \times 3 \text{ min}) + (0.2 \times 4 \text{ min}) + (0.1 \times 5 \text{ min})] = 3 \text{ minutos, o } 180 \text{ segundos por lote}$$

El tiempo de procesamiento promedio esperado por lote (de diez unidades) es:

$$[(0.1 \times 5 \text{ seg}) + (0.2 \times 6 \text{ seg}) + (0.3 \times 7 \text{ seg}) + (0.25 \times 8 \text{ seg}) + (0.15 \times 9 \text{ seg})] = 7.15 \text{ segundos/unidad} \times 10 \text{ unidades/lote} = 71.5 \text{ segundos por lote}$$

Así, el total de los tiempos promedio de preparación y procesamiento por lote es de 251.5 segundos. En una hora se podría esperar completar aproximadamente 14 lotes (3600/251.5 segundos = 14.3). Sin embargo, es probable que esta estimación sea demasiado alta.

Tenga presente que Mel y Danny funcionan en secuencia y que Danny no puede iniciar un trabajo sino hasta que Mel haya finalizado su parte (véase el lote 2 de la tabla B.4). Tampoco Mel puede iniciar un nuevo lote mientras Danny no esté listo para aceptar el anterior. Remítase al lote 6, en el cual Mel completa su lote en el tiempo 25:50, pero no le es posible iniciar el séptimo lote sino hasta que Danny esté listo para aceptar el sexto, a la hora 28:00.

Mel y Danny completaron sólo 12 lotes en una hora. Aunque los robots usaron las mismas distribuciones de probabilidades y, por consiguiente, sus capacidades de producción estaban perfectamente equilibradas, Mel y Danny no lograron producir la capacidad esperada de 14 lotes porque, algunas veces, Danny tuvo que quedarse ocioso mientras esperaba a Mel (véase el lote 2) y, en otras, Mel estuvo ocioso esperando a Danny (véase el lote 6). Este fenómeno de pérdida de rendimiento se presenta siempre que los procesos variables están estrechamente vinculados, ya sean de carácter mecánico, como los de Mel y Danny, o se refieran a funciones, como los de producción y marketing. La simulación pone de manifiesto la necesidad de dejar suficiente espacio entre los dos robots para almacenar varios lotes, a fin de absorber las variaciones en los tiempos de los procesos. Podrían ejecutarse algunas simulaciones más para averiguar cuántos lotes se necesitan.

TABLA B.4 Resultados de la simulación para Mel y Danny

Mel							Danny					
Núm. de lote	**Hora de inicio**	**Núm. aleatorio**	**Prepa- ración**	**Núm. aleatorio**	**Proceso**	**Tiempo acumulado**	**Hora inicio**	**Núm. aleatorio**	**Prepa- ración**	**Núm. aleatorio**	**Proceso**	**Tiempo acumulado**
1	0:00	71	4 min	50	7 seg	5 min 10 seg	5:10	21	2 min	94	9 seg	8 min 40 seg
2	5:10	50	3 min	63	8 seg	9 min 30 seg	9:30	47	3 min	83	8 seg	13 min 50 seg
3	9:30	31	3 min	73	8 seg	13 min 50 seg	13:50	04	1 min	17	6 seg	15 min 50 seg
4	13:50	96	5 min	98	9 seg	20 min 20 seg	20:20	21	2 min	82	8 seg	23 min 40 seg
5	20:20	25	2 min	92	9 seg	23 min 50 seg	23:50	32	3 min	53	7 seg	28 min 0 seg
6	23:50	00	1 min	15	6 seg	25 min 50 seg	28:00	66	3 min	57	7 seg	32 min 10 seg
7	28:00	00	1 min	99	9 seg	30 min 30 seg	32:10	55	3 min	11	6 seg	36 min 10 seg
8	32:10	10	2 min	61	8 seg	35 min 30 seg	36:10	31	3 min	35	7 seg	40 min 20 seg
9	36:10	09	1 min	73	8 seg	38 min 30 seg	40:20	24	2 min	70	8 seg	43 min 40 seg
10	40:20	79	4 min	95	9 seg	45 min 50 seg	45:50	66	3 min	61	8 seg	50 min 10 seg
11	45:50	01	1 min	41	7 seg	48 min 00 seg	50:10	88	4 min	23	6 seg	55 min 10 seg
12	50:10	57	3 min	45	7 seg	54 min 20 seg	55:10	21	2 min	61	8 seg	58 min 30 seg
13	55:10	26	2 min	46	7 seg	58 min 20 seg	58:30	97	5 min	31	7 seg	64 min 40 seg

PROBLEMAS

Encontrará el software de simulación SimQuick en el CD-ROM del estudiante que se incluye en cada copia nueva del libro de texto (en inglés), junto con el correspondiente manual del usuario. También se incluyen ejercicios sobre cómo usar SimQuick para simular varios problemas que se presentan en la administración de procesos y cadenas de valor. SimQuick puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Comet Dry Cleaners se especializa en el lavado en seco para entrega el mismo día. Los clientes dejan sus prendas temprano por la mañana y confían en que estarán listas para recogerlas después del trabajo, antes de volver a casa. Sin embargo, existe el riesgo de que el trabajo necesario para limpiar una prenda no se termine el mismo día, dependiendo del tipo de limpieza requerido. Históricamente, un promedio de 20 prendas suele retenerse hasta el día siguiente. El gerente del establecimiento está estudiando una posible expansión o eliminar ese rezago. Se ha construido un modelo de simulación con la siguiente distribución para el número de prendas por día.

Número	Probabilidad	Números aleatorios
50	0.10	00–09
60	0.25	10–34
70	0.30	35–64
80	0.25	65–89
90	0.10	90–99

Después de la expansión, el número máximo de prendas que sería posible limpiar en seco cada día es:

Número	Probabilidad	Números aleatorios
60	0.30	00–29
70	0.40	30–69
80	0.30	70–99

En la simulación correspondiente a un día específico, el número de prendas que requieren limpieza (NPRL) se determina primero. A continuación, se determina el número máximo de prendas que podrían lavarse en seco (NMPL). Si NMPL ≥ NPRL, todas las prendas podrán lavarse el mismo día. Si NMPL < NPRL, entonces (NPRL — NMPL) prendas tendrán que sumarse al número de las que lleguen al día siguiente para calcular el NPRL del día siguiente. La simulación prosigue de esta manera.

a. Suponiendo que la tintorería esté vacía al principio, simule 15 días de operaciones. Use los siguientes números aleatorios, el primero para determinar el número de llegadas y el segundo para establecer la capacidad.
(49, 77), (27, 53), (65, 08), (83, 12), (04, 82),
(58, 44), (53, 83), (57, 72), (32, 53), (60, 79),
(79, 30), (41, 48), (97, 86), (30, 25), (80, 73)

Determine el número promedio diario de prendas retenidas hasta el día siguiente, con base en su simulación.

b. Si el costo asociado a las prendas retenidas es de $25 por prenda cada día y el costo agregado de la expansión es de $200 diarios, ¿será conveniente efectuar dicha expansión?

2. Precision Manufacturing Company está estudiando la conveniencia de comprar una máquina de control numérico (CN), y ha reducido las opciones a sólo dos modelos. La compañía produce varios productos, y los lotes de trabajo llegan a la máquina CN cada seis minutos. El número de unidades contenidas en los lotes, muestra la siguiente distribución discreta:

Número de unidades en el loteh	Probabilidad
3	0.1
6	0.2
8	0.3
14	0.2
18	0.2

La distribución de los tiempos de preparación y procesamiento de los dos modelos CN se presenta a continuación. Suponga que todo el trabajo de un lote comparte un solo procedimiento de preparación y que cada unidad del lote requiere el mismo tiempo de procesamiento. Simule dos horas de operación (o la llegada de 10 lotes) para las dos máquinas CN. Use los siguientes números aleatorios, aplicando el primero al número de unidades contenidas en un lote, el segundo a los tiempos de de preparación y el tercero a los tiempos de procesamiento:

(71, 21, 50), (50, 94, 63), (96, 93, 95), (83, 09, 49), (10, 20, 68), (48, 23, 11), (21, 28, 40), (39, 78, 93), (99, 95, 61), (28, 14, 48)

¿Cuál de las dos máquinas recomendaría, si ambas tienen el mismo costo de compra, operación y mantenimiento?

Máquina NC 1			
Tiempo de preparación (min)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento por unidad (seg)	Probabilidad
1	0.10	5	0.10
2	0.20	6	0.20
3	0.40	7	0.30
4	0.20	8	0.25
5	0.10	9	0.15

Máquina CN 2			
Tiempo de preparación (min)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento por unidad (seg)	Probabilidad
1	0.05	3	0.20
2	0.15	4	0.25
3	0.25	5	0.30
4	0.45	6	0.15
5	0.10	7	0.10

3. En el problema 2, ¿qué factores consideraría usted si el costo inicial de la máquina CN 1 fuera $4000 menor que el de la máquina CN 2?

4. Los 30 profesores de administración de la Universidad Omega (UΩ) se han dado cuenta de que muchas llamadas telefónicas que llegan a sus oficinas no son respondidas. Un sistema de redistribución de llamadas las reenvía a la oficina administrativa después del cuarto repique. Un asistente de oficina del departamento contesta el teléfono y toma recados. En promedio, cada hora se reciben 90 llamadas telefónicas para el profesorado de administración y cada una de ellas requiere casi un minuto del tiempo de trabajo del asistente. La llegada de las llamadas corresponde a una distribución de Poisson, como se muestra en la figura B.5(a), con un promedio de 1.5 llamadas por minuto. En virtud de que los profesores pasan gran parte de su tiempo en el aula y en conferencias, la probabilidad de que reciban personalmente sus llamadas es de sólo 40%, como se muestra en la figura B.5(b). Si dos o más llamadas telefónicas son transferidas a la oficina en el mismo minuto, sólo la primera será respondida.

a. Sin usar ninguna simulación, trate de calcular en forma preliminar qué proporción del tiempo el asistente se dedicará al teléfono y qué proporción de las llamadas telefónicas no se responderán.

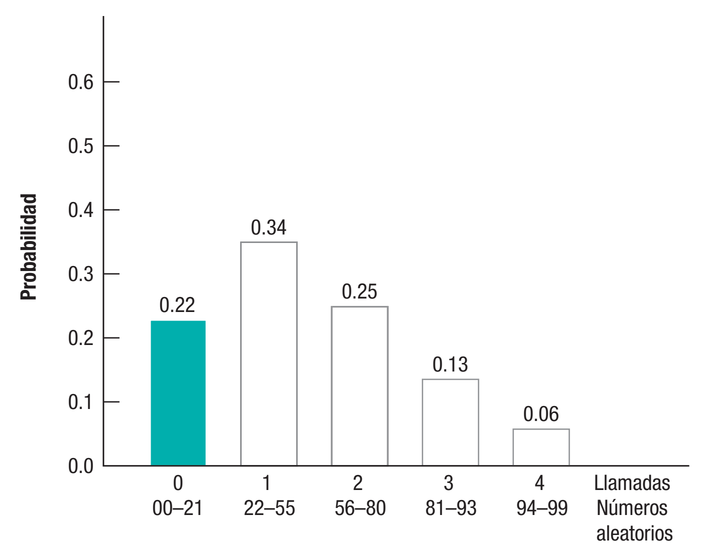
b. Use ahora números aleatorios para simular la situación en el curso de una hora, a partir de las 10:00 A.M. La tabla B.5 le mostrará los primeros pasos.

c. ¿Qué proporción del tiempo está al teléfono el asistente de oficina? ¿Qué proporción de las llamadas telefónicas no se contestan? ¿Se aproximan estas proporciones a las que usted había previsto?

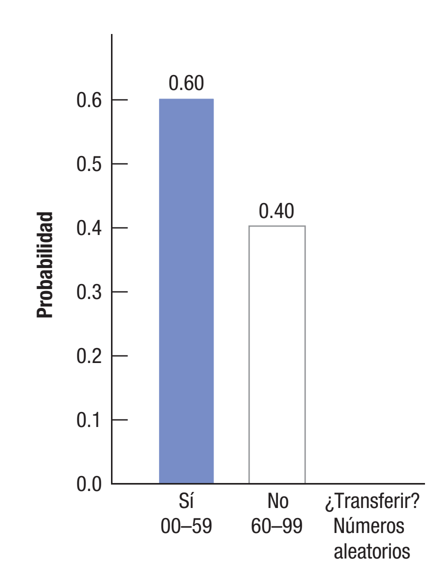
5. El director administrativo de la UΩ está estudiando la posibilidad de instalar un sistema de buzón de voz. Los costos mensuales de operación serían de $25 por cada buzón de voz, pero el sistema reduciría en 60% el tiempo que el asistente de oficina debe dedicar a contestar llamadas telefónicas. El departamento tiene 32 teléfonos. Use los resultados de la simulación del problema 4 para estimar la proporción del tiempo que el asistente dedica actualmente a contestar teléfonos. El salario del asistente de oficina (y su participación en los gastos generales) es de $3000 mensuales. ¿Será conveniente que el director administrativo compre el sistema de correo de voz?

6. En la tienda local de mercancías generales E-Z Mart, la demanda semanal de leche con bajo contenido de grasa en envases de un galón ha variado entre 60 y 65 envases en las últimas 50 semanas, como muestra la siguiente tabla. No es posible hacer pedidos con entrega diferida para la demanda que supera el inventario de productos.

Demanda (envases)	Número de semanas
60	5
61	7
62	17
63	11
64	6
65	4
Total	50




(a) Probabilidades del número de llamadas telefónicas que entran por minuto



(b) Probabilidad de transferir una llamada

FIGURA B.5 | Distribución de probabilidades para la Universidad Omega

a. Asigne números aleatorios entre 00 y 99 para simular la distribución de probabilidades de la demanda.
b. E-Z Mart pide 62 envases cada semana. Simule la demanda de este artículo durante 10 semanas, usando los números aleatorios 97, 2, 80, 66, 99, 56, 54, 28, 64 y 47. Determine los faltantes o excedentes de inventario para cada semana.
c. ¿Cuáles serán los faltantes promedio y los excedentes promedio en el inventario durante las 10 semanas?

7. El taller de servicio Brakes-Only promete a sus clientes un servicio completo el mismo día, trabajando tiempo extra si es necesario. Los dos mecánicos del taller pueden realizar en total 12 servicios de frenos por día en el horario normal de atención al público. En los últimos 100 días, el número de servicios de frenos realizados en el taller ha variado entre 10 y 14, como lo muestra la siguiente tabla.

Demanda (trabajos)	Número de días
10	10
11	30
12	30
13	20
14	10
Total	100

TABLA B.5 | Simulación de la actividad del asistente de oficina

Hora	NA	Núm. de llamadas realizadas	NA	¿1a. llamada transferida? (Sí/No)	NA	¿2a. llamada transferida? (Sí/No)	NA	¿3a. llamada transferida? (Sí/No)	NA	¿4a. llamada transferida? (Sí/No)	Número de llamadas no respondidas	El asistente está ocioso (✓)
10:00	68	2	30	Sí	54	Sí					1	
10:01	76	2	36	Sí	32	Sí					1	
10:02	68	2	04	Sí	07	Sí					1	
10:03	98	4	08	Sí	21	Sí	28	Sí	79	No	2	
10:04	25	1	77	No							0	✓
10:05	51	1	23	Sí							0	
10:06	67	2	22	Sí	27	Sí					1	
10:07	80	2	87	No	06	Sí					0	
10:08	03	0									0	✓
10:09	03	0									0	✓
10:10	33	1	78	No							0	✓

a. Asigne números aleatorios entre 00 y 99 para simular la distribución de probabilidades de demanda de servicio de frenos.
b. Simule la demanda para los próximos 10 días, usando los números aleatorios 28, 83, 73, 7, 4, 63, 37, 38, 50 y 92.
c. ¿Durante cuántos días será necesario trabajar tiempo extra? ¿Durante cuántos días serán subutilizados los mecánicos?
d. ¿Qué porcentaje de días, en promedio, será necesario trabajar tiempo extra?

8. Un centro de máquinas atiende a cuatro tipos de clientes: A, B, C y D. El gerente desea calcular el número de máquinas que requiere la producción de bienes para esos clientes. Los tiempos de preparación de las máquinas para cambiar del pedido de un cliente al de otro son insignificantes. Tanto la demanda anual como los tiempos de procesamiento son inciertos; la demanda puede ser baja, normal o alta. Las probabilidades de estos tres acontecimientos aparecen en las siguientes tablas:

Cliente A

Demanda (unidades/año)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento (horas/unidad)	Probabilidad
3,000	0.10	10	0.35
3,500	0.60	20	0.45
4,200	0.30	30	0.20

Cliente B

Demanda (unidades/año)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento (horas/unidad)	Probabilidad
500	0.30	60	0.25
800	0.50	90	0.50
900	0.20	100	0.25

Cliente C

Demanda (unidades/año)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento (horas/unidad)	Probabilidad
1,500	0.10	12	0.25
3,000	0.50	15	0.60
4,500	0.40	20	0.15

Cliente D

Demanda (unidades/año)	Probabilidad	Tiempo de procesamiento (horas/unidad)	Probabilidad
600	0.40	60	0.30
650	0.50	70	0.65
700	0.10	80	0.05

a. Explique cómo puede usarse la simulación para generar una distribución de probabilidades para el número total de horas máquina que se requieren cada año para atender a los clientes.
b. Haga una simulación correspondiente a un año, usando los siguientes números aleatorios. Use el número aleatorio 88 para representar la demanda del cliente A, el 24 para el tiempo de procesamiento del cliente A, etcétera.

88, 24, 33, 29, 52, 84, 37, 92

9. La actividad de ventas de BestCar (véase el ejemplo B.3) ha cambiado. Ahora se calcula que las ventas semanales se distribuyen como sigue:

Ventas semanales (autos)	Frecuencia relativa (probabilidad)
0	0.02
1	0.03
2	0.05
3	0.10
4	0.15
5	0.30
6	0.20
7	0.10
8	0.05
Total	1.00

Cree un modelo en Excel que simule 500 semanas en BestCar. El modelo debe calcular, a partir de la experiencia simulada, el número promedio de automóviles e ingresos por semana, así como una tabla de frecuencia de las ventas de automóviles.

10. Conserve la misma distribución de las ventas semanales de BestCar que se indica en el ejemplo B.3, pero suponga que el precio de los automóviles se distribuye como sigue:

Precio de venta (precio/auto)	Frecuencia relativa (probabilidad)
$18,000	0.15
$20,000	0.35
$22,000	0.35
$24,000	0.10
$26,000	0.05
Total	1.00

Cree un modelo en Excel que simule 500 semanas en BestCar. El modelo debe calcular, a partir de la experiencia simulada, el número promedio de automóviles e ingresos por semana, así como una tabla de frecuencia de las ventas de automóviles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdou, G. y S. P. Dutta, "A Systematic Simulation Approach for the Design of JIT Manufacturing Systems", *Journal of Operations Management,* volumen 11, número 3, 1993, pp. 25–38.

Brennan, J. E., B. L. Golden y H. K. Rappoport, "Go with the Flow: Improving Red Cross Bloodmobiles Using Simulation Analysis", *Interfaces*, volumen 22, número 5, 1992, p. 1.

Christy, D. P. y H. J. Watson, "The Application of Simulation: A Survey of Industry Practice", *Interfaces*, volumen 13, número 5, octubre de 1983, pp. 47–52.

Conway, R., W. L. Maxwell, J. D. McClain y S. L. Worona, *XCELL & Factory Modeling System Release 4.0*, San Francisco, Scientific Press, 1990.

Ernshoff, J. R. y R. L. Serson, *Design and Use of Computer Simulation Models*, Nueva York, Macmillan, 1970.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Imagine That! (www.imaginethatinc.com), *Extend Simulation Package*, San Jose, CA.

Law, A. M. y W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 2a. edición, Nueva York, McGraw-Hill, 1991.

Meier, R. C., W. T. Newell y H. L. Pazer, *Simulation in Business and Economics*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1969.

MicroAnalysis and Design Software Inc., "Hospital Overcrowding Solutions Are Found with Simulation", *Industrial Engineering*, diciembre de 1993, p. 557.

Naylor, T. H., et al., *Computer Simulation Techniques*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1966.

Pritsker, A. A. B., C. E. Sigal y R. D. Hammesfahr, *SLAM II: Network Models for Decision Support*, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1989.

Solomon, S. L., *Simulation of Waiting Lines*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1983.

Swedish, Julian, "Simulation Brings Productivity Enhancements to the Social Security Administration", *Industrial Engineering*, mayo de 1993, pp. 28–30.

Winston, Wayne L., *Simulation Modeling Using @RISK*, Belmont, CA, Wadsworth Publishing Company, 1996.

6

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir los cuatro costos principales del desempeño deficiente de los procesos y la mala calidad.
2. Identificar la *calidad* desde la perspectiva del cliente.
3. Explicar las diferencias entre causas comunes y causas asignables de variación en el desempeño de los procesos y por qué la distinción entre ambas es importante.
4. Describir cómo se trazan los gráficos de control y utilizarlos para determinar si un proceso se encuentra fuera de control estadístico.
5. Describir cómo se determina si un proceso es capaz de producir un servicio o producto de acuerdo con las especificaciones.
6. Explicar los principios básicos de la TQM o los programas Six Sigma.



Un chef en el hotel de lujo Crowne Plaza, en Christchurch, Nueva Zelanda, prepara alimentos confeccionados de acuerdo con las especificaciones de los comensales.

CAPÍTULO 6

Desempeño y calidad de los procesos

CROWNE PLAZA CHRISTCHURCH

El Crowne Plaza Christchurch, un hotel de lujo en Christchurch, Nueva Zelanda, tiene 298 habitaciones para huéspedes, tres restaurantes, dos salones y 260 empleados para atender a 2250 huéspedes cada semana, que consumen en promedio 2450 comidas. A pesar de que la operación es compleja, el desempeño y la calidad del servicio reciben la más alta prioridad en el Crowne Plaza, porque los clientes así lo exigen. Los huéspedes tienen muchas oportunidades de evaluar la calidad del servicio que se les brinda. Por ejemplo, antes de la llegada del huésped, el personal de reservaciones recopila una cantidad considerable de información acerca de lo que le agrada y no le agrada a ese huésped en particular. Esta información (por ejemplo, la preferencia por las almohadas firmes o toallas adicionales) se distribuye al personal a cargo de la limpieza y a otras funciones del hotel, y se usa para personalizar el servicio que cada huésped recibe. A su llegada, un portero saluda al huésped, le abre la puerta del automóvil y baja el equipaje. A continuación, el cliente es escoltado hasta la recepción, donde uno de los empleados lo registra y le asigna su habitación. Por último, cuando el huésped va a cenar, los camareros y cocineros también deben hacer honor a los altos niveles de calidad que distinguen al Crowne Plaza de sus competidores.

¿Cómo es posible mantener un nivel tan alto de calidad? El Crowne Plaza ha facultado a sus empleados para que adopten medidas preventivas y, si es necesario, correctivas, sin tener que pedir autorización a la gerencia. Además, la gerencia y los empleados usan gráficos de línea, histogramas y otras representaciones gráficas para estar al tanto del desempeño e identificar las áreas en que es necesario mejorar. En las cocinas del hotel, por ejemplo, se exhiben fotografías de los manjares terminados, a fin de recordarles a los chefs cómo deben ser la presentación y el contenido de los platos. Finalmente, en esta empresa de servicios, donde el contacto con el cliente es intenso, el reclutamiento, la capacitación y la motivación de los empleados son factores esenciales



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

para alcanzar y mantener altos niveles de calidad en el servicio.

Fuente: El nombre del hotel cambió de Parkroyal Christchurch a Crowne Plaza Christchurch en 2005. Véase también *Operations Management 8e Video Library*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005, www.crowneplaza.co.nz,2005.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

El desafío de hoy para las empresas radica en satisfacer a sus clientes por medio del desempeño excepcional de sus procesos. El Crowne Plaza Christchurch es ejemplo de una compañía que, para hacer frente a este desafío, ha diseñado y administrado procesos que producen la satisfacción total de los clientes. La evaluación del desempeño de los procesos es importante si se desea alcanzar esta meta. Se trata del cuarto paso del diagrama del análisis de procesos, figura 5.1.

La evaluación del desempeño de los procesos también es necesaria para administrar las cadenas de valor. Por ejemplo, en el Crowne Plaza Christchurch, el proceso de restaurante podría medirse con base en la uniformidad de la presentación y contenido de los platos y la oportunidad del servicio proporcionado. El proceso de compras, que comprende la selección de los proveedores del restaurante y cómo entregan sus productos, podría medirse en función de la calidad de los productos suministrados al restaurante, la puntualidad de las entregas de los proveedores y el costo de los alimentos. En última instancia, la evaluación de la cadena de valor que consiste en estos dos procesos dependerá de la medida en que éstos satisfacen a los clientes del restaurante, que son quienes consideran el valor de la comida, y de si la experiencia en el restaurante cumple o supera las expectativas. El desempeño de cada uno de estos procesos debe ser congruente con las mediciones de desempeño que se utilizan en la cadena de valor.

> DESEMPEÑO Y CALIDAD DE LOS PROCESOS EN LA ORGANIZACIÓN <

El desempeño y la calidad de los procesos conciernen a todos. Pongamos por caso a QVC, un servicio de compras por televisión valuado en 4900 millones de dólares. QVC transmite las 24 horas del día, todo el año, excepto en Navidad.[1] QVC vende alrededor de 60,000 artículos que varían entre joyas, herramientas, utensilios de cocina, ropa, alimentos gourmet y computadoras.

Las operaciones de QVC entran en acción con el pedido de un cliente: una vez que se coloca un pedido, tienen lugar actividades como registrar el pedido, ofrecer una fecha de entrega, facturarlo y entregarlo. QVC opera cuatro centros de atención telefónica que manejan mensualmente tres millones de llamadas de clientes que desean comprar algo, quejarse de un problema o simplemente obtener información sobre los productos. En este proceso, el comportamiento y la destreza del representante de atención telefónica son cruciales para lograr un encuentro exitoso con el cliente. La gerencia de QVC lleva el control de las mediciones de productividad, calidad y satisfacción de los clientes en este proceso. Cuando las mediciones bajan, los problemas se atacan de inmediato. Saber cómo evaluar si el proceso se desempeña bien y cuándo adoptar medidas son competencias fundamentales que los gerentes de QVC deben tener. El capítulo 6 aborda primero los costos del desempeño deficiente y la mala calidad de los procesos y después se centra en las filosofías y herramientas que muchas compañías han adoptado para evaluarlos y mejorarlos.

> COSTOS DEL DESEMPEÑO DEFICIENTE Y LA MALA CALIDAD DEL DESEMPEÑO <

defecto
Cualquier caso en que un proceso no satisface a su cliente.

Cuando un proceso no satisface al cliente, se considera un **defecto.** Por ejemplo, según la California Academy of Family Physicians, los defectos de los procesos en el consultorio de un médico se definen como "cualquier cosa que haya ocurrido en mi consultorio que no debería haber ocurrido, y que por ningún motivo quiero que vuelva a ocurrir." Evidentemente, esta definición cubre las fallas del proceso que el paciente nota, como la mala comunicación y los errores en las dosis de

[1]Anne Schwarz, "Listening to the Voice of the Customer Is the Key to QVC's Success", *Journal of Organizational Excellence,* invierno de 2004, pp. 3-11.

los medicamentos. También incluye fallas que el paciente no advierte, como los historiales clínicos incorrectos.

Muchas compañías invierten considerable tiempo, esfuerzo y dinero en sistemas, capacitación y cambios organizacionales para mejorar el desempeño y la calidad de sus procesos. Creen que es importante poder medir los niveles actuales de desempeño para determinar las brechas en los procesos. Las brechas reflejan posibles clientes insatisfechos y costos adicionales para la empresa. La mayoría de los expertos estiman que las pérdidas ocasionadas por el desempeño deficiente y la mala calidad oscilan entre 20 y 30% del monto de las ventas brutas. Estos costos pueden clasificarse en cuatro categorías: costos de prevención, de valoración y los internos y externos de una falla.

COSTOS DE PREVENCIÓN

Los **costos de prevención** están asociados a las medidas encaminadas a prevenir los defectos antes de que éstos se produzcan. Entre ellos figuran los costos de rediseñar el proceso para suprimir las causas del desempeño deficiente, rediseñar el servicio o producto para simplificar su producción, capacitar a los empleados en los métodos de mejoramiento continuo y trabajar en conjunto con los proveedores para elevar la calidad de los artículos comprados o los servicios contratados. Para mejorar el desempeño, las empresas tienen que invertir tiempo, esfuerzo y dinero adicionales.

costos de prevención
Costos asociados con las medidas encaminadas a prevenir los defectos antes de que éstos se produzcan.

COSTOS DE VALORACIÓN

Los **costos de valoración** son aquellos en los que se incurre cuando la empresa evalúa el nivel de desempeño de sus procesos. Conforme las medidas preventivas mejoran el desempeño, los costos de valoración disminuyen porque se requieren menos recursos para realizar inspecciones de calidad y para la búsqueda subsiguiente de las causas de los problemas que se detectan.

costos de valoración
Costos en los que se incurre cuando la empresa evalúa el nivel de desempeño de sus procesos.

COSTOS INTERNOS DE UNA FALLA

Los **costos internos de una falla** son el resultado de los defectos que se descubren durante la producción de un servicio o producto. Los defectos se dividen en dos categorías principales: *reelaboración,* en la que se incurre cuando un aspecto del servicio debe volver a realizarse o cuando un artículo defectuoso debe devolverse a alguna o algunas de las operaciones anteriores para corregir el defecto; y *desperdicio,* en el que se incurre si ya no es posible corregir el artículo defectuoso. Por ejemplo, un análisis de la viabilidad de adquirir una compañía puede devolverse al departamento de fusiones y adquisiciones si falta la evaluación del historial de cumplimiento de las normas ambientales por parte de la empresa. Asimismo, si el inspector final de un taller de pintura de automóviles descubre que la pintura de un vehículo está mal terminada, éste tendrá que volver a lijarse y pintarse. El tiempo adicional que se dedica a corregir esos errores se traduce en una menor productividad. Además, es posible que el auto no quede terminado en la fecha que el cliente esperaba.

costos internos de una falla
Costos que son el resultado de los defectos que se descubren durante la producción de un servicio o producto.

COSTOS EXTERNOS DE UNA FALLA

Los **costos externos de una falla** surgen cuando se descubre un defecto después de que el cliente recibe el servicio o producto. Por ejemplo, suponga que llevó su automóvil a que le cambiaran el aceite y que el filtro del aceite no se instaló correctamente, por lo que el aceite escurre en el piso de su cochera. Usted puede insistir en que la compañía pague para que el auto sea remolcado al taller para que le cambien de inmediato tanto el aceite como el filtro. En ese caso, los costos externos de la falla para la compañía incluyen los costos del servicio de grúa y el aceite y filtro adicionales, además de la pérdida de futuros ingresos porque usted decide no volver a llevar su auto a ese taller.

costos externos de una falla
Costos que surgen cuando se descubre un defecto después de que el cliente recibe el servicio o producto.

Los clientes insatisfechos hablan del mal servicio o los productos defectuosos con sus amigos, y éstos, a su vez, lo comentan con otras personas. Si el problema es suficientemente grave, los grupos de protección al consumidor pueden incluso poner sobre alerta a los medios informativos. El posible impacto en las utilidades futuras es difícil de calcular, pero es indudable que los costos externos de una falla debilitan la participación de mercado y las utilidades. Es muy costoso encontrar defectos y corregirlos después de que el producto se encuentra en manos del cliente.

Los costos externos de una falla también incluyen los costos de servicio de garantía y de litigios. Una **garantía** es un compromiso escrito de que el productor sustituirá o reparará las partes defectuosas o realizará el servicio a entera satisfacción del cliente. La garantía cubre generalmente un periodo específico. Por ejemplo, la reparación de un televisor normalmente se garantiza por 90 días y los automóviles nuevos tienen una garantía de cinco años u 80,000 kilómetros, lo que ocurra primero. Los costos de garantía deben tomarse en consideración en el diseño de los nuevos servicios o productos.

garantía
Compromiso escrito de que el productor sustituirá o reparará las partes defectuosas o realizará el servicio a entera satisfacción del cliente.

ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

administración de la calidad total (TQM)

Filosofía que hace hincapié en tres principios para alcanzar altos niveles de desempeño y calidad de los procesos: satisfacción del cliente, participación de los empleados y mejoramiento continuo del desempeño.

La **administración de la calidad total (TQM)** (del inglés *total quality management*) es una filosofía que hace hincapié en tres principios para alcanzar altos niveles de desempeño y calidad de los procesos. Estos principios se relacionan con la satisfacción del cliente, la participación de los empleados y el mejoramiento continuo del desempeño. Como se aprecia en la figura 6.1, la TQM también incluye una serie de elementos importantes que se cubren en otros capítulos y suplementos de este texto: diseño de productos y servicios (véase el capítulo 2, "Estrategia de operaciones"); diseño de procesos (véase el capítulo 4, "Estrategia de procesos"); compras (véase el capítulo 10, "Estrategia de cadena de suministro"); benchmarking y herramientas para la resolución de problemas (véase el capítulo 5, "Análisis de procesos", y el suplemento A, "Toma de decisiones"). Aquí nos centraremos en los tres principios fundamentales de la TQM.

SATISFACCIÓN DEL CLIENTE

calidad

Término utilizado por los clientes para describir su satisfacción general con un producto o servicio.

Los clientes, internos o externos, se sienten satisfechos cuando se cumplen o superan las expectativas que tienen con respecto a un servicio o producto. A menudo, los clientes utilizan en término genérico **calidad** para describir su nivel de satisfacción con un producto o servicio. La calidad tiene múltiples dimensiones en la mente del cliente, mismas que se relacionan con las nueve prioridades competitivas que se presentaron en el capítulo 2, "Estrategia de operaciones". Una o varias de las siguientes definiciones pueden aplicarse en cada ocasión.

Conformidad con las especificaciones Aunque los clientes evalúan el servicio o producto que reciben, lo que en realidad juzgan son los procesos que produjeron dicho servicio o producto. En este caso, una falla del proceso repercute en la incapacidad de cumplir ciertos niveles de desempeño anunciados o implícitos. La conformidad con las especificaciones puede relacionarse con la consistencia de la calidad, la puntualidad de la entrega o la rapidez con que ésta se efectúa.

Bell Canada mide el desempeño del proceso de su centro de atención telefónica por el tiempo que se necesita para procesar una llamada (lo cual se conoce como "tiempo de manejo"). Si el tiempo promedio supera la norma de 23 segundos, los gerentes trabajan conjuntamente con los operadores para reducirlo. Los clientes se impacientan si no pueden obtener acceso rápido a un operador. Sin embargo, Seagate anuncia que sus unidades de disco Cheetah, de alto desempeño, tienen un tiempo medio entre fallas de 1.2 millones de horas. Todos los componentes de dichas unidades de disco deben ajustarse a las especificaciones individuales de Seagate para que el producto completo produzca el desempeño deseado. La consistencia en la calidad es importante porque los clientes miden la calidad por el desempeño del producto. No obstante, cada uno de los procesos manufactureros de Seagate y sus proveedores también están siendo evaluados.

Valor Otra forma en que los clientes definen la calidad se refiere al valor, es decir, la medida en que un producto o servicio cumple su propósito, a un precio que los clientes estén dispuestos a pagar. El proceso de diseño del servicio o producto influye en este caso, lo mismo que las priorida-

FIGURA 6.1

La rueda de la TQM



des competitivas de la empresa que se relacionan con la calidad superior o con las operaciones de bajo costo. Los dos factores deben equilibrarse para producir valor para el cliente. El valor que tenga un servicio o producto en la mente del cliente dependerá de las expectativas de éste antes de comprarlo. Un fideicomiso complicado, preparado con un prestigioso bufete de abogados, puede costar 3000 dólares; sin embargo, si el fideicomiso es suficientemente flexible para no tener que cambiarlo con el tiempo, el precio puede valer la pena. Asimismo, la compra de un Honda Civic por 13,000 dólares puede tener más valor para un cliente que la compra de un Jaguar por 45,000 dólares, porque el propósito que se persigue al adquirir el auto es proporcionar transporte a un estudiante mientras asiste a la escuela.

Conveniencia de uso Al evaluar la medida en que el producto o servicio cumple su propósito, el cliente puede considerar la comodidad de un servicio o las características mecánicas de un producto. Otros aspectos de la conveniencia de uso son: apariencia, estilo, durabilidad, fiabilidad, calidad de fabricación y servicios de apoyo. Por ejemplo, usted tiene la posibilidad de juzgar la calidad del servicio que le brinda su dentista basándose en la antigüedad del equipo con que éste cuenta, porque la nueva tecnología dental reduce en alto grado las molestias asociadas a las visitas al dentista. También puede definir la calidad del centro de entretenimiento que acaba de comprar, en función de la facilidad con la que logró armar dicho mueble y por lo bien que logre acomodar en él su equipo.

Soporte Con frecuencia, el soporte que proporciona la compañía para sus productos o servicios es tan importante para los clientes como la calidad del producto o servicio mismo. Los clientes se molestan con una compañía que presenta estados financieros incorrectos, no atiende con prontitud las reclamaciones sobre garantías o tiene publicidad engañosa. Sin embargo, el buen soporte del producto suele reducir las consecuencias de las fallas de calidad. Por ejemplo, si usted lleva su automóvil al taller mecánico para que le reparen los frenos, le parecerá muy molesto que al cabo de una semana los frenos empiecen a chirriar de nuevo. Si el gerente del taller le ofrece entonces hacer el trabajo de nuevo sin cargo adicional, es evidente que la empresa está tratando de satisfacer al cliente.

Impresiones psicológicas Es frecuente que la gente evalúe la calidad de un producto o servicio tomando como base sus impresiones psicológicas: atmósfera, imagen o estética. En el suministro de servicios en los que el cliente está en estrecho contacto con el proveedor, la apariencia personal y los actos de éste son muy importantes. Los empleados bien vestidos, corteses, amables y simpáticos influyen favorablemente en la percepción del cliente acerca de la calidad del servicio. Por ejemplo, los camareros desaliñados, desatentos o gruñones pueden malograr los mejores esfuerzos de un restaurante por ofrecer un servicio de alta calidad. En las manufacturas, la calidad de un servicio se juzga a menudo por los conocimientos y la personalidad de los vendedores, y también por la imagen que el producto proyecta en sus anuncios.

Lograr una buena calidad en todas las áreas de la empresa es una tarea difícil. Para hacer las cosas aún más difíciles, los consumidores cambian su percepción de lo que es la calidad. En general, el éxito de una empresa depende de la precisión con la cual perciba las expectativas de los consumidores, y de su capacidad para salvar la brecha entre esas expectativas y sus propias capa-



En las fábricas de discos duros es necesario usar traje especial y mascarilla para evitar contaminar el producto. Mantener un ambiente libre de polvo es crucial para la calidad de las unidades de disco.

cidades de operación. La buena calidad genera mayores utilidades. Los productos y servicios de alta calidad pueden tener precios más altos y producen un mejor desempeño. La mala calidad deteriora la capacidad de la empresa para competir en el mercado y eleva los costos de producción de su producto o servicio. Por ejemplo, al apegarse más a las especificaciones, una empresa logra aumentar su participación de mercado *y* reducir el costo de sus servicios o productos, lo cual, a su vez, incrementa las utilidades. De este modo, la gerencia compite mejor tanto en precio como en calidad.

PARTICIPACIÓN DEL EMPLEADO

Uno de los elementos importantes de la TQM es la participación del empleado, como se ilustra en la figura 6.1. Un programa de participación del empleado incluye entre sus propósitos modificar la cultura organizacional y estimular el trabajo de equipo.

Cambio cultural El desafío que implica la administración de la calidad consiste en lograr que todos los empleados cobren conciencia de la importancia de la calidad y motivarlos para mejorarla. Con la TQM se espera que todos contribuyan al mejoramiento general de la calidad: desde el administrador que encuentra medidas para ahorrar costos, hasta el vendedor que descubre una nueva necesidad del cliente, y desde el ingeniero que diseña un producto con menos partes, hasta el gerente que se comunica claramente con otros jefes de departamento. En otras palabras, la TQM abarca todas las funciones relacionadas con un producto o servicio.

Uno de los principales desafíos de desarrollar la cultura adecuada para la TQM consiste en definir al *cliente* de cada empleado. En general, los clientes son internos o externos. Los clientes externos son las personas o empresas que compran el producto o servicio. En este sentido, toda la compañía es una sola unidad que debe esforzarse al máximo para satisfacer a sus clientes externos. Sin embargo, es difícil comunicar los intereses de los clientes externos a todos los miembros de la organización. A algunos empleados, sobre todo a los que pocas veces entran en contacto con los clientes externos, les puede resultar difícil comprender de qué manera contribuye su actividad al esfuerzo total.

Es útil señalar a los empleados que cada uno de ellos tiene también uno o varios clientes internos, es decir, los empleados de la empresa que dependen de la producción de otros empleados. Por ejemplo, un maquinista que hace perforaciones en un componente y luego lo pasa a un soldador tiene a dicho soldador como cliente. Aun cuando el soldador no sea un cliente externo, coincidirá con éste en muchas de las definiciones de calidad, con la salvedad de que éstas se referirán al componente y no al producto completo. Todos los empleados deben servir lo mejor posible a sus clientes internos para que, al final, los clientes externos queden satisfechos. Y éstos sólo quedarán satisfechos si cada uno de los clientes internos exige que se agregue el tipo de valor que el cliente externo pueda reconocer y pagar. El concepto de clientes internos se aplica a todas las partes de una empresa y refuerza la coordinación entre funciones. Por ejemplo, contabilidad debe preparar informes precisos y oportunos para la gerencia, y compras debe proveer puntualmente materiales de alta calidad a operaciones.

En la TQM, todos los miembros de la organización deben compartir el punto de vista de que el control de calidad es un fin en sí mismo. Es preciso que los errores o defectos sean detectados y corregidos en el origen, y que no se transmitan al cliente interno o externo. Por ejemplo, un equipo de consultoría debe asegurarse de que el número de horas que se van a facturar sean correctas antes de enviarlas al departamento de contabilidad. Esta filosofía se llama **calidad en el origen**. Además, las empresas no deben tratar de "incorporar a posteriori la calidad al producto mediante inspecciones", usando inspectores que supriman los servicios insatisfactorios o los productos defectuosos después de que se han realizado todas las operaciones. En contraste, en algunas empresas manufactureras, los trabajadores tienen autoridad para detener la línea de producción si descubren algún problema de calidad.

calidad en el origen
Filosofía que se aplica para detectar y corregir los defectos donde éstos se originan.

Equipos La participación del empleado es una táctica clave para mejorar los procesos y la calidad. Una forma de lograr que los empleados participen es la formación de **equipos**, que son grupos pequeños de personas que tienen un propósito común, establecen sus propias metas y enfoques de desempeño y se hacen responsables del éxito. Los equipos difieren del "grupo de trabajo" más típico porque:

equipos
Grupos pequeños de personas que tienen un propósito común, establecen sus propias metas y enfoques de desempeño y se hacen responsables del éxito.

- Los integrantes tienen un compromiso común con un propósito más elevado en el que todos creen y que trasciende las prioridades individuales.
- Las funciones de liderazgo se comparten en lugar de que haya un solo líder fuerte.
- El desempeño se juzga no sólo por las aportaciones individuales, sino también por los "productos del trabajo" colectivo que reflejan los esfuerzos conjuntos de todos los miembros.
- En las reuniones se promueve la discusión abierta, en lugar de una agenda definida por la gerencia.

- Los miembros del equipo hacen un verdadero trabajo en conjunto, en lugar de delegarlos a sus subordinados.

Los tres enfoques de trabajo en equipo que se usan más a menudo son: equipos para la resolución de problemas, equipos con propósitos especiales y equipos autoadministrados. Los tres aplican, hasta cierto punto, la política de ***empowerment***, que desplaza la responsabilidad por las decisiones a los niveles inferiores del organigrama, es decir, hasta el nivel del empleado que realiza directamente el trabajo.

empowerment
Enfoque de trabajo en equipo en el que se desplaza la responsabilidad por las decisiones a los niveles inferiores del organigrama, es decir, hasta el nivel del empleado que realiza directamente el trabajo.

Introducidos por primera vez en la década de 1920, los equipos para la resolución de problemas, conocidos también como **círculos de calidad**, se hicieron populares a finales de 1970, a raíz de que los japoneses los usaron con éxito. Los equipos para la resolución de problemas son grupos pequeños de supervisores y empleados que se reúnen para identificar, analizar y resolver problemas de procesos y calidad. La filosofía que sustenta este enfoque es que la gente directamente responsable de proveer el servicio o hacer el producto es la más indicada para estudiar la forma de resolver un problema. Además, los empleados sienten más orgullo y se interesan más en su trabajo si se les permite ayudar a definirlo. Los círculos de calidad típicos incluyen entre 5 y 12 voluntarios, procedentes de distintas áreas del departamento o de un grupo de empleados asignados a una tarea específica, como la tramitación de una solicitud de crédito o el ensamblaje de un automóvil. Los equipos se reúnen varias horas por semana para trabajar en problemas de calidad y procesos, y para hacer sugerencias a la dirección. Estos equipos son muy comunes en las empresas administradas por japoneses en Estados Unidos. La filosofía japonesa consiste en alentar al empleado a hacer aportaciones, sin dejar de mantener un control riguroso de las actividades de éste en el trabajo. Aun cuando lo equipos para la resolución de problemas logran reducir los costos y mejorar la calidad, no pueden sobrevivir si la gerencia no pone en práctica muchas de las sugerencias que ellos hacen.

círculos de calidad
Otro nombre de los equipos para la resolución de problemas; grupos pequeños de supervisores y empleados que se reúnen para identificar, analizar y resolver problemas de procesos y calidad.

Un producto de los equipos para la resolución de problemas, los **equipos con propósitos especiales** se ocupan de cuestiones de máxima importancia para la gerencia, los trabajadores, o ambos. Por ejemplo, la gerencia puede formar un equipo con el propósito especial de diseñar e implementar nuevas políticas de trabajo o nuevas tecnologías, o bien, para resolver problemas de atención al cliente. En esencia, este enfoque permite a los trabajadores expresar su opinión en las decisiones de alto nivel. Los equipos con propósitos especiales surgieron por primera vez en Estados Unidos a principios de la década de 1980.

equipos con propósitos especiales
Grupos que se ocupan de cuestiones de máxima importancia para la gerencia, los trabajadores o ambos.

El enfoque de **equipo autoadministrado** lleva la participación del trabajador a su nivel más alto: se trata de un grupo pequeño de empleados que trabajan en conjunto para producir una parte considerable, o a veces la totalidad, de un servicio o producto. Los integrantes aprenden todas las tareas que conforman la operación, ocupan los puestos por rotación y asumen funciones administrativas, como la elaboración de los programas de trabajo y vacaciones, los pedidos de suministros y la contratación de personal. En algunos casos, los miembros del equipo diseñan el proceso y tienen un alto grado de libertad para definirlo. En esencia, los equipos autoadministrados modifican la forma en que el trabajo se organiza porque los empleados tienen control sobre sus puestos. Algunos equipos autoadministrados han aumentado la productividad en 30% o más en sus respectivas empresas.

equipo autoadministrado
Grupo pequeño de empleados que trabajan en conjunto para producir una parte considerable, o a veces la totalidad, de un servicio o producto.

MEJORAMIENTO CONTINUO

El **mejoramiento continuo**, basado en un concepto japonés llamado *kaizen*, es una filosofía que consiste en buscar continuamente la forma de mejorar los procesos. El mejoramiento continuo implica la identificación de modelos (*benchmarks*) de excelencia en la práctica, e inculcar en el empleado el sentimiento de que el proceso le pertenece. El objetivo puede ser la reducción del tiempo necesario para la tramitación de las solicitudes de préstamo en un banco, la cantidad de desechos generados por una fresadora, o el número de empleados que resultan lesionados durante la construcción de un edificio. El mejoramiento continuo también se centra en los problemas que surgen con clientes o proveedores, como cuando los clientes externos solicitan cambios frecuentes en las cantidades de un embarque, o los proveedores internos no logran mantener un nivel alto de calidad. Las bases de la filosofía del mejoramiento continuo son las convicciones de que prácticamente cualquier aspecto de un proceso puede mejorarse y que las personas que participan más de cerca en un proceso se encuentran en la mejor posición para identificar los cambios que deben hacerse. La idea es no esperar hasta que se produzca un problema grave para decidirse a actuar.

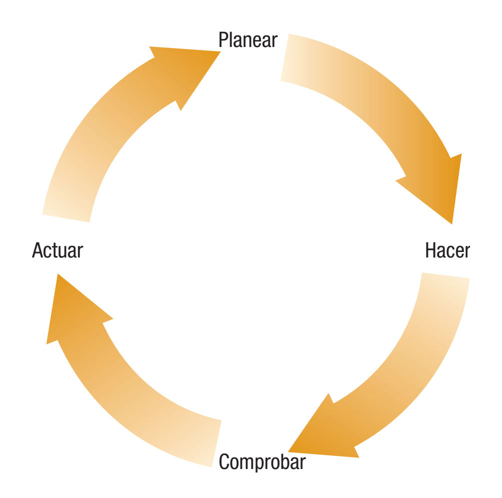
mejoramiento continuo
Filosofía que consiste en buscar continuamente la forma de mejorar los procesos, basada en un concepto japonés llamado *kaizen*.

Para empezar Inculcar la filosofía del mejoramiento continuo en una organización es, por lo general, un proceso largo, y varios pasos son esenciales para su éxito final.

1. Capacitar a los empleados en los métodos del control estadístico de procesos (SPC) (del inglés *statistical process control*) y otras herramientas para mejorar la calidad y el desempeño. (El SPC se explica más adelante en este capítulo).
2. Lograr que los métodos del SPC se conviertan en un aspecto normal de las operaciones diarias.

FIGURA 6.2

Ciclo de planear-hacer-comprobar-actuar



3. Integrar equipos de trabajo y propiciar la participación de los empleados.
4. Utilizar herramientas para la resolución de problemas dentro de los equipos de trabajo.
5. Crear en cada operario el sentimiento de que el proceso que realiza le pertenece.

Observe que la participación del empleado es fundamental en la filosofía del mejoramiento continuo. Sin embargo, los dos últimos pasos son decisivos para que esta filosofía llegue a formar parte de las operaciones cotidianas. El sentimiento de propiedad surge en los empleados cuando sienten responsables por los procesos y los métodos que utilizan, y se enorgullecen de la calidad del servicio o producto que producen. Es consecuencia de la participación en equipos de trabajo y en actividades de resolución de problemas, pues esto infunde en los empleados la sensación de que tienen cierto grado de control sobre el lugar de trabajo y sus tareas.

ciclo de planear-hacer-comprobar-actuar

Ciclo, también conocido como la Rueda de Deming, que utilizan las empresas dedicadas activamente al mejoramiento continuo para capacitar a sus equipos de trabajo en la resolución de problemas.

Proceso de resolución de problemas La mayoría de las empresas dedicadas activamente al mejoramiento continuo capacitan a sus equipos de trabajo en el uso del ciclo de **planear-hacer-comprobar-actuar** para la resolución de problemas. Este método también se conoce como la Rueda de Deming. La figura 6.2 muestra este ciclo, que es parte medular de la filosofía del mejoramiento continuo. El ciclo comprende los siguientes pasos:

1. *Planear*. El equipo selecciona un proceso (por ejemplo, una actividad, método, máquina o política) que sea necesario mejorar. A continuación, el equipo documenta el proceso elegido, por lo general, analizando los datos relacionados; establece metas cualitativas de mejoramiento, y estudia varios caminos para alcanzar las metas. Después de evaluar los costos y beneficios de las distintas alternativas, el equipo traza un plan de mejoramiento con mediciones cuantificables.
2. *Hacer*. El equipo pone en práctica el plan y observa los progresos. Los datos se recaban en forma continua para medir los avances en el proceso. Cualquier cambio en éste se documenta y se hacen revisiones adicionales según se requiera.
3. *Comprobar*. El equipo analiza los datos recabados durante el paso *hacer* y observa hasta qué punto los resultados coinciden con las metas establecidas en el paso *planear*. Si existen limitaciones graves, el equipo reevalúa el plan o suspende el proyecto.
4. *Actuar*. Si los resultados son exitosos, el equipo documenta el proceso revisado, a fin de convertirlo en el procedimiento normal para todos los que lo usen. Después, el equipo puede enseñar a otros empleados a usar el proceso revisado.

Los proyectos de resolución de problemas a menudo se enfocan en los aspectos de los procesos que no agregan valor alguno al producto o servicio. Se agrega valor en procesos tales como tornear una parte o atender a un cliente en una página Web. No se agrega valor en actividades tales como inspeccionar partes para ver si tienen defectos o enviar solicitudes de préstamo para su aprobación a varios departamentos. La idea del mejoramiento continuo es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor y que, por lo tanto, son dispendiosas. Por ejemplo, supongamos que una empresa ha identificado tres actividades que no agregan valor en la fabricación de sus productos: inspección de cada una de las partes, reparación de defectos y manejo de materiales entre las operaciones. El tiempo que permanecen las distintas partes en cada actividad no agrega valor al producto y, por consiguiente, tampoco genera ingresos para la empresa. Los proyectos de mejoramiento continuo podrían enfocarse en reducir el tiempo de manejo de materiales, redistribuyendo la ubicación de las máquinas para minimizar las distancias que dichos materiales recorren, o mejorando los métodos para la producción de partes, a fin de disminuir la necesidad de realizar inspecciones y rectificaciones.

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Para evaluar el desempeño de los procesos se requiere una variedad de métodos para recopilar datos. Ya se estudiaron las listas de verificación, histogramas y gráficos de barras, gráficos de Pareto, diagramas de dispersión, diagramas de causa y efecto y gráficos (véase el capítulo 5, "Análisis de procesos").

El **control estadístico de procesos (SPC)** es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si el resultado de un proceso concuerda con lo que el cliente desea. En el SPC, las herramientas conocidas como gráficos de control se usan sobre todo para detectar servicios o productos defectuosos o para indicar que el proceso ha cambiado y que los servicios o productos se apartarán de sus respectivas especificaciones de diseño, a menos que se haga algo para corregir la situación. El SPC también se puede usar para informar a la gerencia de los cambios en los procesos mejorados. Entre los ejemplos de cambios en los procesos que pueden detectarse por medio del SPC se cuentan:

control estadístico de procesos (SPC)
La aplicación de técnicas estadísticas para determinar si el resultado de un proceso concuerda con lo que el cliente desea.

- Una reducción en el número promedio de quejas que se reciben a diario en un hotel.
- Un incremento repentino en la proporción de cajas de velocidades defectuosas.
- Un aumento en el tiempo que se necesita para tramitar una solicitud de préstamo hipotecario.
- Una disminución en el número de unidades desechadas en una fresadora.
- Un incremento en el número de personas que reciben con retraso el pago de sus respectivas reclamaciones por parte de una compañía de seguros.

Consideremos esta última situación. Supongamos que el gerente del departamento de cuentas por pagar de una compañía de seguros observa que la proporción de retrasos en el pago de reclamaciones ha aumentado de un promedio de 0.01 a 0.03. La primera pregunta es si ese aumento es motivo de preocupación o sólo fue un hecho fortuito. El control estadístico de procesos ayuda al gerente a decidir si es necesario emprender acciones adicionales. Si el aumento de dicha proporción es grande, el gerente no debe concluir que se trata sólo de un hecho fortuito, sino buscar otras explicaciones del desempeño deficiente. Tal vez hubo un aumento significativo en el número de reclamaciones, lo cual ocasionó una sobrecarga de trabajo para empleados del departamento. La decisión podría consistir en contratar más personal. También es posible que los procedimientos que se están aplicando sean ineficaces o que la capacitación de los empleados resulte insuficiente. El SPC forma parte integral de la TQM. La Práctica administrativa 6.1 muestra cómo se usan la TQM y el SPC para producir productos de chocolate.

Otro enfoque de la administración de la calidad, el **muestreo de aceptación**, es la aplicación de técnicas estadísticas para determinar si una cantidad de material determinada debe aceptarse o rechazarse, con base en la inspección o prueba de una muestra (véase el suplemento I, "Planes de muestreo de aceptación" en el CD-ROM del estudiante, en inglés). En esta sección se explorarán las técnicas de control estadístico de procesos para comprender mejor la función que desempeñan en la toma de decisiones.

muestreo de aceptación
La aplicación de técnicas estadísticas para determinar si una cantidad de material determinada debe aceptarse o rechazarse, con base en la inspección o prueba de una muestra.

VARIACIÓN DE PRODUCTOS

No hay dos productos o servicios exactamente iguales porque los procesos que se usan para producirlos incluyen muchas fuentes de variación, incluso cuando dichos procesos funcionen de acuerdo con lo previsto. No obstante, es importante minimizar la variación en los productos porque, con frecuencia, la variación es lo que el cliente nota y percibe. Suponga que una clínica médica envía reclamaciones a nombre de sus pacientes a una compañía de seguros en particular. En esta situación, la clínica médica es el cliente del proceso de pago de facturas de la aseguradora. En algunos casos, la clínica recibe el pago en 4 semanas y en otros, después de 20 semanas. El tiempo para procesar una solicitud de pago varía debido a la carga de los procesos de la compañía de seguros, el historial médico del paciente y las habilidades y actitudes de los empleados. En el ínterin, la clínica tiene que cubrir sus gastos mientras espera a recibir el pago correspondiente. Del mismo modo, en un proceso manufacturero, el diámetro de dos cigüeñales puede variar a causa de diferencias en el desgaste de las herramientas, la dureza del material, la destreza del operario o la temperatura prevaleciente en el periodo en el que se produjeron. Sin importar si el resultado del proceso es un servicio o producto, nada puede hacerse para suprimir por completo la variación en la producción; sin embargo, la gerencia debe investigar las *causas* de la variación a fin de minimizarla.

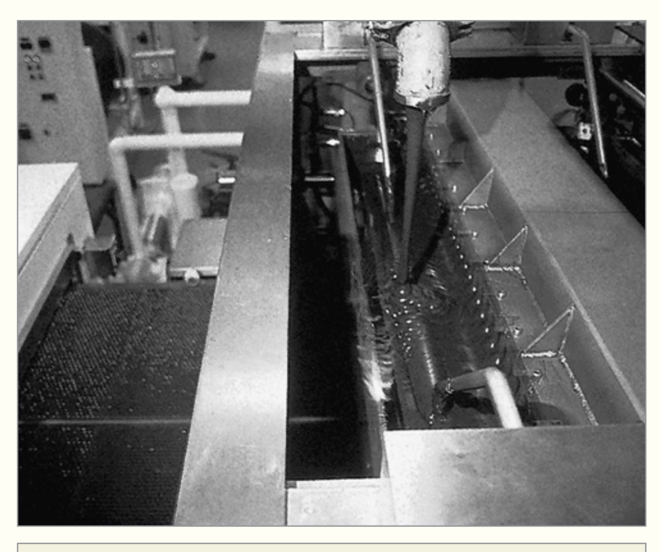
Mediciones del desempeño El desempeño puede evaluarse de dos maneras. Una consiste en medir las **variables**, esto es, las características del servicio o producto, como peso, longitud, volumen o tiempo, que pueden *medirse*. Por ejemplo, los gerentes de United Parcel Service (UPS) llevan el control del tiempo que los conductores dedican a repartir los paquetes. Asimismo, los inspectores de Harley-Davidson miden el diámetro de un pistón para determinar si el producto se ajusta a las especificaciones (dentro de la tolerancia admisible) e identificar las diferencias en el diámetro a través del tiempo. La ventaja de usar variables del desempeño radica en que si un servicio o

variables
Características del servicio o producto, como peso, longitud, volumen o tiempo, que pueden medirse.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 6.1 LA TQM Y EL SCP AYUDAN A ADM COCOA A MANTENER UN DULCE NEGOCIO

ADM Cocoa produce gotas de chocolate y otros productos de chocolate para una amplia variedad de clientes en las industrias de confitería, productos lácteos y repostería. El proceso de producción de las gotas de chocolate es un proceso en línea altamente automatizado. Todos los días se descargan, limpian y tuestan alrededor de 228,000 kilogramos de granos de cacao. Los granos tostados se muelen para obtener un líquido, conocido como *licor*, que después se mezcla con otros ingredientes, de acuerdo con la receta de un determinado producto, para formar una pasta. La pasta se calienta a una temperatura específica y luego se bombea a una máquina depositadora que forma las gotas y controla el enfriamiento de la pasta. A continuación, las gotas se empacan para su entrega.

ADM utiliza técnicas de la TQM con el SPC para garantizar que el proceso produzca lo que el cliente desea. Las características de los productos agrícolas que se utilizan como materia prima en la producción de chocolate difieren. Por ejemplo, el contenido de grasa de los granos de cacao varía dependiendo de las condiciones en que éstos se cultivaron. El contenido de grasa es crucial para determinar la cantidad correcta de cada aditivo que debe agregarse a la mezcla para producir un producto específico. ADM recolecta muestras de cada lote de licor poco antes de la operación de mezclado para medir el contenido de grasa. Si la muestra resulta inaceptable, el licor se vuelve a procesar hasta que tenga el contenido correcto de grasa. Debido a que el contenido de grasa está estandarizado, la operación de mezclado también puede estandarizarse de un lote a otro.



El chocolate caliente se vierte en un tanque de retención en la máquina depositadora que forma las gotas de chocolate.

Los clientes de ADM cuentan con recibir cantidades uniformes de gotas de chocolate. Los clientes tienen especificaciones como 4000 ± 200 gotas por libra y planean sus procesos de producción en consecuencia. Un paso esencial en la producción de las gotas es la operación de la máquina depositadora de ADM. Cada hora, se toma una muestra aleatoria de 100 gotas de la línea de producción, se registra el peso total y se calcula el número promedio de gotas por libra. Si el resultado es inaceptable, el operario de la máquina explora las posibles razones del problema (incluida la temperatura de la pasta y el ajuste de la abertura que forma las gotas). Los ajustes tardan 15 minutos en surtir efecto a causa del tiempo necesario para retirar los productos defectuosos. Los operarios deben estar bien capacitados tanto en las técnicas de control estadístico del proceso como en el funcionamiento de la máquina, porque un error en el ajuste implica que se pierdan por lo menos 30 minutos de tiempo de producción.

Fuente: David Krajewski, Archer Daniels Midland Company, 2003, www.admworld.com.

producto no satisface sus especificaciones de desempeño, el inspector conoce la magnitud de la discrepancia. La desventaja es que estas mediciones suelen requerir el uso de equipo especial, ciertas destrezas de los empleados, procedimientos rigurosos, tiempo y esfuerzo. Otra forma de evaluar el desempeño consiste en medir los **atributos**, es decir, las características del producto o servicio que pueden *contarse* rápidamente para saber si el desempeño es aceptable. Este método permite a los inspectores tomar una simple decisión de sí o no, acerca de si un producto o servicio cumple con las especificaciones. Los atributos se usan con frecuencia cuando las especificaciones de desempeño son complejas y la medición de las variables resulta difícil o costosa. Algunos ejemplos de atributos que pueden contarse son: el número de formularios de seguro que contienen errores y dan lugar a pagos excesivos o insuficientes, la proporción de radios que no funcionan en la prueba final, la proporción de vuelos de aerolíneas que llegan con una diferencia menor que 15 minutos con respecto a la hora prevista, el número de cubiertas para estufa que se entregan manchadas con salpicaduras de pintura.

atributos
Características del producto o servicio que pueden contarse rápidamente para saber si el desempeño es aceptable.

La ventaja de contar los atributos es que se requieren menos esfuerzos y recursos que para medir las variables. La desventaja es que, aun cuando los recuentos de atributos bastan para revelar que el desempeño del proceso ha cambiado, no indican la magnitud del cambio. Por ejemplo, un recuento puede poner de manifiesto que la proporción de vuelos de aerolíneas que llegan con una diferencia de menos de 15 minutos con respecto a la hora prevista ha disminuido, pero el resultado no muestra cuántos minutos más allá de los 15 permitidos están llegando los vuelos. Para saberlo, habría que medir la desviación real de la llegada prevista, es decir, una variable. La Práctica administrativa 6.2 presenta ejemplos de mediciones de la calidad que se utiliza en la industria del cuidado de la salud.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 6.2 MEDICIONES DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA DEL CUIDADO DE LA SALUD

Robert Wood Johnson University Hospital Hamilton (RWJ Hamilton) es un hospital comunitario privado sin fines de lucro de 160 millones de dólares para cuidados agudos que da servicio a más de 350,000 habitantes de Hamilton, Nueva Jersey. Los servicios primarios incluyen atención médica y quirúrgica, obstetricia, cardiología, ortopedia y cuidados intensivos para adultos y bebés y niños enfermos de gravedad. RWJ Hamilton tiene 1734 empleados y más de 650 miembros del personal médico. Los habitantes de Hamilton se enorgullecen de este hospital porque en 2004 se hizo acreedor al Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad en el cuidado de la salud. ¿Cuál es el secreto de su éxito?

RWJ Hamilton depende de su liderazgo, su enfoque en el servicio, finanzas, calidad, personal y crecimiento, así como su proceso de planificación estratégica y sistemas de medición. No se puede administrar lo que no se puede medir, por lo que RWJ Hamilton usa su Sistema de medición del desempeño organizacional para observar el desempeño y las operaciones cotidianas. Los indicadores clave del desempeño son revisados cada semana por los altos líderes de los procesos, mensualmente por los gerentes y trimestralmente por los empleados. He aquí algunos ejemplos de las mediciones que la gerencia considera importantes para el hospital.



El éxito en la calidad del cuidado de la salud se apuntala utilizando un sistema de medición del desempeño para llevar el control de las operaciones cotidianas de los hospitales, incluida la satisfacción de los clientes. Es importante que los datos sean revisados mensualmente por los administradores del hospital y trimestralmente por los empleados.

- *Participación de mercado.* La satisfacción del cliente con los servicios que ofrece el hospital se refleja a menudo en las mediciones de la participación de mercado. La participación de mercado de RWJ Hamilton en cardiología, cirugía y oncología aumentó considerablemente en relación con su principal competidor. Esta medición indica que el hospital está creciendo.
- *Tasas de ocupación.* La inversión continua en tecnología, equipo e instalaciones rindió frutos para RWJ Hamilton. En 2003, su tasa de ocupación fue de 85%, mientras que su más cercano competidor registró una tasa de ocupación de sólo 60%.
- *Velocidad de entrega.* Los pacientes que acuden al departamento de urgencias cuentan con la garantía de que verán a una enfermera dentro de los 15 minutos posteriores a su llegada y a un médico en los 30 minutos siguientes. Se ha demostrado que la satisfacción de los clientes está relacionada con la rapidez de la entrega.
- *Satisfacción de los clientes en cuanto a los servicios.* Se solicita a los pacientes que contesten encuestas relacionadas con los servicios que recibieron y su nivel de satisfacción. Por ejemplo, la satisfacción de los pacientes respecto a la eficiencia y la cortesía del personal de enfermería aumentó de 70% en 1999 a 90% en 2004. Estas mediciones pueden compararse con las normas nacionales.
- *Índice de mortalidad de los pacientes.* Todos los hospitales trabajan para reducir al mínimo esta medición. Los índices de mortalidad de un hospital pueden compararse con las tasas nacionales para establecer puntos de referencia. Los índices de mortalidad de RWJ Hamilton mostraron una tendencia descendente constante.
- *Porcentaje de pacientes que reciben medicamentos equivocados.* Aunque suene aterrador, la media nacional en Estados Unidos en cuanto a pacientes que reciben medicamentos equivocados es de 36%. En RWJ Hamilton, la tasa es de 7%.
- *Índice de retención de empleados.* Los índices de retención altos implican que los empleados disfrutan de su trabajo y creen que se les da trato justo. Los índices de retención en RWJ Hamilton son de alrededor de 98%.

Estas mediciones pueden observarse a través del tiempo para evaluar los cambios en los procesos del hospital y la necesidad de adoptar medidas administrativas. El análisis de las mediciones ayuda a la gerencia a centrar la atención en aquellos procesos en los que se necesitan mejoras.

Fuente: El resumen del Robert Wood Johnson University Hospital Hamilton para el Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad, 2004, se puede conseguir en www.nist.gov/public_affairs/releases/rwj_hamilton.htm; www.rwjhamilton.org/.

Muestreo El método más completo para una inspección consiste en revisar la calidad de todos los productos o servicios en cada una de las etapas del proceso. Este procedimiento, llamado *inspección completa*, se usa cuando los costos de pasar los defectos a un cliente interno o externo son mayores que los costos de la inspección. Las empresas utilizan a menudo equipo de inspección automatizado que registra, resume y muestra los datos. Muchas compañías han descubierto que el equipo de inspección automatizado se paga por sí solo en un tiempo razonablemente corto.

Un **plan de muestreo** correctamente concebido proporciona más o menos el mismo grado de protección que una inspección completa. En el plan de muestreo se especifican: el **tamaño de la muestra**, que es una cantidad de observaciones seleccionadas al azar de los productos del proceso; el tiempo que deberá transcurrir entre muestras sucesivas, y las reglas de decisión que determinan cuándo será necesario adoptar medidas. El muestreo es apropiado cuando los costos de

plan de muestreo
Plan que especifica el tamaño de la muestra, el tiempo que deberá transcurrir entre muestras sucesivas y las reglas de decisión que determinan cuándo será necesario adoptar medidas.

tamaño de la muestra
Cantidad de observaciones seleccionadas al azar de los productos del proceso.

inspección son altos, porque para realizarla se requieren conocimientos, habilidades o procedimientos especiales, o bien, equipo costoso.

Distribuciones de muestreo En relación con las mediciones del desempeño, un proceso produce productos que pueden describirse por medio de una *distribución del proceso*, con una media y una varianza que sólo se conocerán con 100% de precisión después de efectuar una inspección completa. Sin embargo, el propósito de un muestreo es calcular la medida de una variable o atributo para los productos del proceso sin tener que llevar a cabo una inspección completa. Esa medida se usará después para evaluar el desempeño del proceso mismo. Por ejemplo, el tiempo requerido para procesar muestras en el laboratorio de la unidad de cuidados intensivos de un hospital (medición de una variable) es variable. Si se midiera el tiempo para completar un análisis de un gran número de pacientes y se trazaran los resultados en un gráfico, los datos tenderían a formar un patrón que puede describirse como la distribución del proceso. Con el muestreo, se trata de estimar los parámetros de la distribución del proceso usando estadísticas como la media de la muestra y el rango de la muestra o la desviación estándar.

1. La *media de la muestra* es la suma de las observaciones dividida entre el número total de observaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

donde

x_i = observación de una característica de la calidad (por ejemplo, el tiempo)

n = número total de observaciones

$\bar{x}$ = media

2. El *rango* es la diferencia entre la observación más grande contenida en una muestra y la más pequeña. La *desviación estándar* es la raíz cuadrada de la varianza de una distribución. Una estimación de la desviación estándar del proceso, basada en una muestra, se obtiene por medio de:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{o} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2 - \frac{(\Sigma x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

donde

σ = desviación estándar de una muestra

n = número total de observaciones en la muestra

$\bar{x}$ = media

x_i = observación de una característica de la calidad

Si el rango o la desviación estándar tienen valores relativamente pequeños, eso implica que las observaciones están agrupadas cerca de la media.

Estas estadísticas de la muestra tienen su propia distribución, a la que llamaremos *distribución de muestreo*. Por ejemplo, en el proceso de análisis de laboratorio, una variable importante del desempeño es el tiempo que se necesita para llevar los resultados a la unidad de cuidados críticos. Suponga que la gerencia desea que los resultados estén listos en un promedio de 25 minutos. Esto es, quiere que la distribución del proceso tenga una media de 25 minutos. Un inspector que periódicamente tome una muestra de cinco análisis y calcule la media de la muestra podría usarla para determinar cómo se desempeña el proceso. Suponga que, en efecto, el proceso está produciendo los análisis con una media de 25 minutos. Si se traza en un gráfico una cantidad considerable de estas medias, se verá que éstas tienen su propia distribución de muestreo con una media centrada en 25 minutos, lo mismo que la media de distribución del proceso, pero con una variabilidad mucho menor. La razón de esto es que las medias de la muestra compensan las cifras más altas y más bajas registradas que corresponden a los tiempos individuales en cada muestra. La figura 6.3 muestra la relación entre la distribución de muestreo para las medias de una muestra y la distribución del proceso para los tiempos de análisis.

Algunas distribuciones de muestreo (por ejemplo, para medias con tamaños de muestra de 4 o más, y proporciones con tamaños de muestra de 20 o más) suelen calcularse en forma aproximada mediante la distribución *normal*, lo cual permite utilizar las tablas normales (véase el apéndice 1, "Distribución normal"). Por ejemplo, suponga que quisiera determinar la probabilidad de que la media de una muestra tenga un valor *mayor* que 2.0 desviaciones estándar que la media del

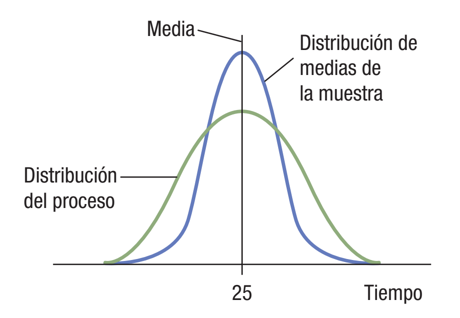


FIGURA 6.3 Relación entre la distribución de medias de la muestra y la distribución del proceso

proceso. Vaya al apéndice 1 "Distribución normal" y observe que la entrada en la tabla para $z = 2.0$ desviaciones estándar es 0.9772. En consecuencia, la probabilidad es de 1.0000 – 0.9772 = 0.0228, o 2.28%. La probabilidad de que la media de la muestra sea más de 2.0 desviaciones estándar menor que la media del proceso es también de 2.28% porque la distribución normal es simétrica a la media. La capacidad de asignar probabilidades a los resultados de la muestra es importante para la construcción y uso de los gráficos de control.

Causas comunes Las dos categorías básicas de variación en la producción son: las causas comunes y las causas asignables. Las **causas comunes de variación** son las fuentes de variación puramente aleatorias, no identificables, que son inevitables con el proceso actual. La distribución de un proceso puede caracterizarse por medio de su *ubicación, extensión* y *forma.* La ubicación se mide por la *media* de la distribución, mientras que la extensión se mide por el *rango* o *desviación estándar.* La forma de las distribuciones del proceso puede caracterizarse ya sea como simétrica o asimétrica (sesgada). Una distribución *simétrica* tiene el mismo número de observaciones ubicadas por encima y por debajo de la media. Una distribución *asimétrica* tiene un mayor número de observaciones ya sea por encima o por debajo de la media. Si la variabilidad del proceso proviene únicamente de las causas comunes de variación, la suposición típica es que se trata de una distribución simétrica, donde la mayoría de las observaciones se localizan cerca del centro.

causas comunes de variación
Las fuentes de variación puramente aleatorias, no identificables, que son inevitables con el proceso actual.

Causas asignables La segunda categoría de variación, las **causas asignables de variación**, también conocidas como *causas especiales,* incluye cualquiera de los factores causantes de variación que pueda ser identificado y eliminado. Entre las causas asignables de variación figuran, por ejemplo, un empleado que necesita capacitación o una máquina que requiere una reparación. Volvamos al ejemplo del proceso de análisis de laboratorio. La figura 6.4 muestra la forma en que las causas asignables modifican la distribución de la producción del proceso de análisis. La curva gris representa la distribución del proceso cuando sólo existen causas comunes de variación. Las líneas negras ilustran un cambio en la distribución debido a la presencia de causas asignables. En la figura 6.4(a), la línea negra indica que el proceso tardó más tiempo de lo planeado en muchos de los casos, por lo que aumentó el tiempo promedio de cada análisis. En la figura 6.4(b), se observa que un aumento en la variabilidad del tiempo en cada caso afectó la extensión de la distribución. Por último, en la figura 6.4(c), la línea negra indica que el proceso produjo una preponderancia de los análisis en menos tiempo que el promedio. Esta distribución es asimétrica; es decir, ya no es simétrica con respecto al valor promedio. Se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando la ubicación, extensión o forma de su distribución no cambia con el tiempo. Una vez que el proceso está bajo control estadístico, los gerentes usan procedimientos SPC para detectar el momento en que surgen las causas asignables y ocuparse de ellas.

causas asignables de variación
Cualquiera de los factores causantes de variación que pueda ser identificado y eliminado.

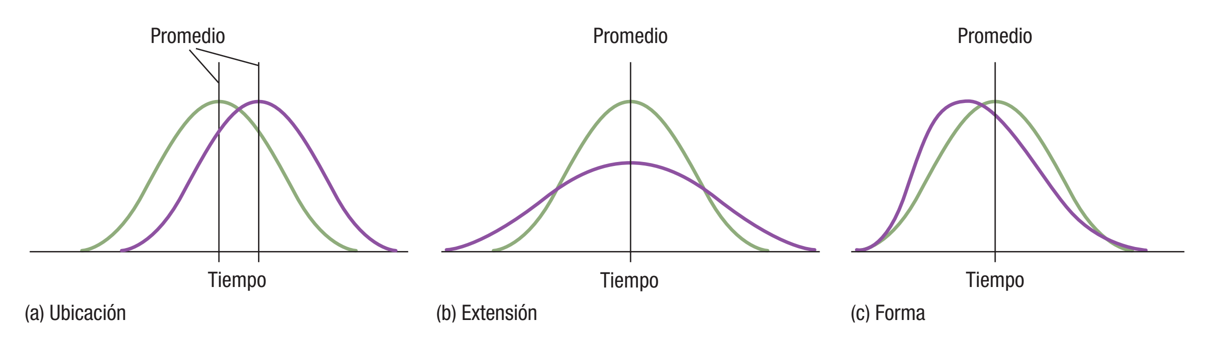


FIGURA 6.4 | Efectos de las causas asignables en la distribución del proceso de análisis de laboratorio



El tiempo requerido para realizar análisis clínicos de muestras de pacientes en un laboratorio puede variar.

GRÁFICOS DE CONTROL

gráfico de control
Diagrama ordenado cronológicamente que se usa para determinar si las variaciones observadas son anormales.

Para determinar si las variaciones observadas son anormales, podemos medir y trazar el gráfico de la medición del desempeño tomada de la muestra, en un diagrama ordenado cronológicamente, conocido como **gráfico de control**. Un gráfico de control tiene un valor nominal, o línea central, que puede ser el promedio histórico del proceso o algún objetivo que los gerentes desearían alcanzar por medio del proceso, y dos límites de control basados en la distribución de muestreo de la medida de la calidad. Los límites de control se usan para juzgar si es necesario emprender alguna acción. El valor más grande representa el *límite de control superior* (UCL, del inglés *upper control limit*) y el valor más pequeño representa el *límite de control inferior* (LCL, del inglés *lower control limit*). La figura 6.5 muestra cómo se relacionan los límites de control con la distribución de muestreo. Una estadística de muestra, ubicada entre el UCL y el LCL, indica que el proceso está mostrando causas comunes de variación; una estadística ubicada fuera de los límites de control indica que el proceso está exhibiendo causas asignables de variación.

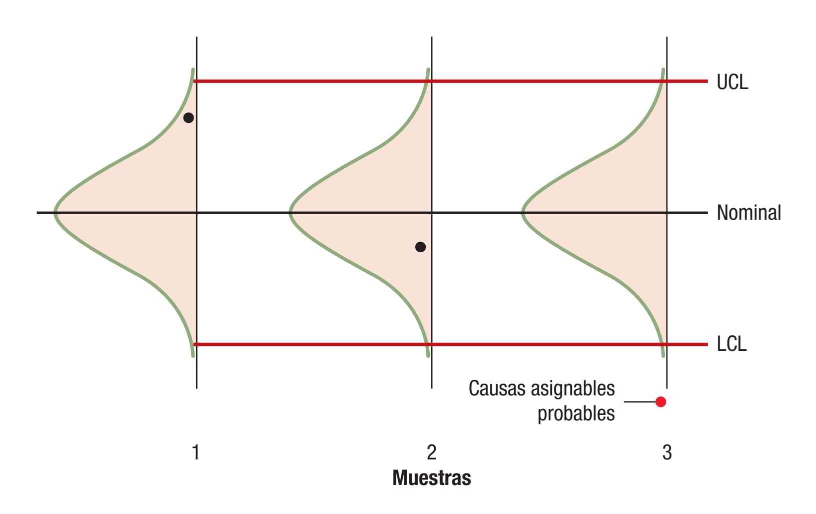
Las observaciones que se encuentran fuera de los límites de control no siempre denotan mala calidad. Por ejemplo, en la figura 6.5, la causa asignable puede ser algún nuevo proceso de facturación que se introdujo para reducir el número de facturas incorrectas que se envían a los clientes. Si la proporción de facturas incorrectas, es decir, la medición del desempeño tomada de una muestra de facturas, desciende por *debajo* del LCL del gráfico de control, es probable que el nuevo procedimiento haya provocado un cambio favorable en el proceso de facturación, y es necesario trazar un nuevo gráfico de control.

Los gerentes o empleados responsables de evaluar un proceso pueden usar los gráficos de control de las siguientes formas:

1. Tomar una muestra aleatoria del proceso y calcular una medida del desempeño variable o de atributos.

FIGURA 6.5

Cómo se relacionan los límites de control con la distribución de muestreo: observaciones tomadas de tres muestras



2. Si la estadística se ubica fuera de los límites de control del gráfico o se comporta de manera inusual, buscar una causa asignable.
3. Eliminar la causa si ésta degrada el desempeño; incorporar la causa si mejora el desempeño. Reconstruir el gráfico de control con los nuevos datos.
4. Repetir periódicamente todo el procedimiento.

A veces, es posible detectar los problemas que afectan a un proceso, aun cuando los límites de control no se hayan rebasado. En la figura 6.6 se presentan cuatro ejemplos de gráficos de control. El gráfico (a) muestra un proceso que se encuentra dentro del control estadístico. No se requiere acción alguna. Sin embargo, el gráfico (b) muestra un patrón conocido como *carrera*, o sea, una secuencia de observaciones con cierta característica. Una regla típica aconseja adoptar medidas correctivas cuando cinco observaciones o más muestran una tendencia ascendente o descendente, aunque los puntos todavía no hayan rebasado los límites de control. Aquí, nueve observaciones secuenciales se ubican por debajo de la media y muestran una tendencia descendente. Hay pocas probabilidades de que dicho resultado pudiera presentarse por casualidad.

El gráfico (c) muestra que el proceso ha sufrido un cambio repentino con respecto a su patrón normal. Las cuatro últimas observaciones son poco comunes: la primera cae cerca del LCL, las siguientes dos ascienden hacia el UCL y la cuarta permanece por arriba del valor nominal. Un gerente debe vigilar los procesos cuando se producen cambios tan repentinos, aunque los límites de control no se hayan rebasado. Por último, el gráfico (d) indica que el proceso se salió de control en dos ocasiones porque dos de los resultados de la muestra se ubicaron fuera de los límites de control. Es alta la probabilidad de que la distribución del proceso haya cambiado. Consideraremos otras consecuencias de los procesos que quedan fuera del control estadístico cuando hablemos de la capacidad de los procesos más adelante en este mismo capítulo.

Los gráficos de control no son herramientas perfectas para detectar los cambios en la distribución de los procesos, por el hecho de que se basan en distribuciones de muestreo. Se pueden presentar dos tipos de errores cuando se utilizan gráficos de control. El **error tipo I** se produce cuando el empleado concluye que el proceso está fuera de control, basándose en un resultado de muestra ubicado fuera de los límites de control, cuando en realidad se trataba de un efecto puramente aleatorio. Un **error tipo II** se presenta cuando el empleado concluye que el proceso está bajo control y que sólo se presenta aleatoriedad, cuando en realidad dicho proceso está fuera de control estadístico.

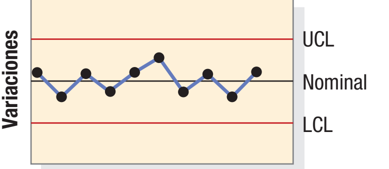
error tipo I

Error que se produce cuando el empleado concluye que el proceso está fuera de control, basándose en un resultado de muestra ubicado fuera de los límites de control, cuando en realidad se trataba de un efecto puramente aleatorio.

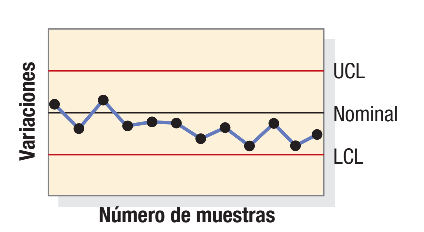
error tipo II

Error que se presenta cuando el empleado concluye que el proceso está bajo control y que sólo se presenta aleatoriedad, cuando en realidad dicho proceso está fuera de control estadístico.

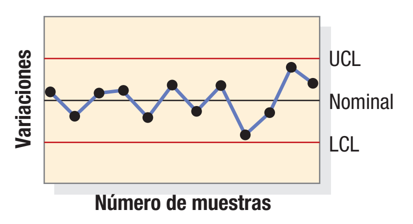
La gerencia puede controlar estos errores mediante la selección adecuada de los límites de control. Dicha selección dependerá de los costos de buscar causas asignables cuando en realidad no existe ninguna frente al costo de no detectar un cambio generado en el proceso. Por ejemplo, establecer límites de control a tres desviaciones estándar de la media reduce el error tipo I porque hay muy pocas probabilidades de que un resultado de muestra se ubique fuera de los límites de control, a menos que el proceso se encuentre fuera de control estadístico. Sin embargo, el error tipo II puede ser considerable porque los cambios más sutiles en la naturaleza de la distribución del proceso pasarán inadvertidos debido a la gran extensión de los límites de control. La extensión de los límites de control también puede reducirse a dos desviaciones estándar, con lo que aumenta la probabilidad de los resultados de muestra se ubiquen fuera de los límites de control. Ahora el error tipo II es más pequeño, pero el error tipo I es mayor porque es probable que los empleados busquen causas asignables cuando el resultado de muestra ocurrió exclusivamente por casualidad.



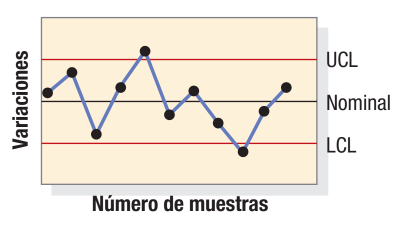
(a) Normal, no se requiere acción



(b) Carrera, adoptar medidas



(c) Cambio repentino, monitorear



(d) Rebasa los límites de control, adoptar medidas

FIGURA 6.6

Ejemplos de gráficos de control

Como regla general, los gerentes usan límites más amplios cuando el costo de buscar causas asignables es alto en relación con el costo de no detectar un cambio en la distribución del proceso.

MÉTODOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Los métodos de control estadístico de procesos (SPC) son útiles tanto para medir el desempeño actual de los procesos, como para detectar si el proceso ha cambiado en alguna forma que afecte el desempeño. En esta sección, primero se hablará de los gráficos de medias y rangos para mediciones variables del desempeño, y después se considerarán los gráficos de control para mediciones de atributos.

GRÁFICOS DE CONTROL PARA VARIABLES

Los gráficos de control para variables se usan para monitorear la media y la variabilidad de la distribución de un proceso.

gráfico *R*
Gráfico que se usa para monitorear la variabilidad de los procesos.

Gráficos *R* Un gráfico de rango, o **gráfico *R***, se usa para monitorear la variabilidad de los procesos. Para calcular el rango de un conjunto de datos de muestra, el analista resta la medición más pequeña de la medición más grande obtenida en cada muestra. Si cualquiera de los datos queda fuera de los límites de control, se dice que la variabilidad del proceso no está bajo control.

Los límites de control para el gráfico *R* son:

$$\text{UCL}_R = D_4\bar{R} \quad \text{y} \quad \text{LCL}_R = D_3\bar{R}$$

donde

$\bar{R}$ = promedio de varios valores *R* pasados y la línea central del gráfico de control

D_3, D_4 = constantes que proporcionan tres límites de desviación estándar (tres sigma) para un tamaño de muestra dado.

gráfico
Gráfico que usa para ver si el proceso está generando producción que, en promedio, es consistente con un valor objetivo establecido por la gerencia para el proceso o si el desempeño actual, con respecto al promedio de la medición del desempeño, es congruente con el desempeño pasado.

Obsérvese que los valores de D_3 y D_4 que se muestran en la tabla 6.1 cambian en función del tamaño de la muestra. Obsérvese también que la extensión entre los límites de control se va haciendo más estrecha a medida que aumenta el tamaño de la muestra. Este cambio es consecuencia de contar con más información como base para hacer una estimación del rango del proceso.

Gráficos $\bar{x}$ Un **gráfico $\bar{x}$** (léase "gráfico *x* barra") se usa para ver si el proceso está generando producción que, en promedio, es consistente con un valor objetivo establecido por la gerencia para el proceso o si el desempeño actual, con respecto al promedio de la medición del desempeño, es congruente con el desempeño pasado. Un valor objetivo es útil cuando el proceso se rediseña por

TABLA 6.1 Factores para calcular límites tres sigma para el gráfico $\bar{x}$ y el gráfico R

Tamaño de la muestra (*n*)	Factor para UCL y LCL para gráficos $\bar{x}$ (A_2)	Factor para LCL para gráficos *R* (D_3)	Factor para UCL para gráfico *R* (D_4)
2	1.880	0	3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.115
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

Fuente: 1950 *ASTM Manual on Quality Control of Materials,* copyright © American Society for Testing Materials. Se reproduce con autorización.

completo y el desempeño pasado deja de ser pertinente. Cuando se han identificado las causas asignables de la variabilidad del proceso y ésta se encuentra bajo control estadístico, el analista puede construir un gráfico $\bar{x}$. Los límites de control del gráfico $\bar{x}$ son:

$$\text{UCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad \text{y} \quad \text{LCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

donde

$\bar{\bar{x}}$ = línea central del gráfico, que puede ser el promedio de las medias de una muestra pasada o un valor establecido como objetivo para el proceso

A_2 = constante para proporcionar límites tres sigma para la media de la muestra

Los valores de A_2 están contenidos en la tabla 6.1. Obsérvese que en los límites de control se usa el valor de $\bar{R}$; por lo tanto, el gráfico $\bar{x}$ debe construirse *después* de que la variabilidad del proceso ha quedado bajo control.

Para desarrollar y usar gráficos $\bar{x}$ y R siga estos pasos:

Paso 1. Recabe datos sobre la medición de la calidad de una variable (por ejemplo, tiempo, peso o diámetro) y organice los datos por número de muestra. De preferencia, deben tomarse por lo menos 20 muestras para usarlas en la construcción de un gráfico de control.

Paso 2. Calcule el rango para cada muestra y el rango promedio, $\bar{R}$, para el conjunto de muestras.

Paso 3. Use la tabla 6.1 para determinar los límites de control superior e inferior del gráfico R.

Paso 4. Trace los rangos de la muestra. Si todos están bajo control, avance al paso 5. De lo contrario, encuentre las causas asignables, corríjalas y regrese al paso 1.

Paso 5. Calcule $\bar{x}$ para cada muestra y determine la línea central del gráfico, $\bar{\bar{x}}$.

Paso 6. Use la tabla 6.1 a fin de determinar los parámetros para $\text{UCL}_{\bar{x}}$ y $\text{LCL}_{\bar{x}}$ y construya el gráfico $\bar{x}$.

Paso 7. Trace las medias de la muestra. Si todas están bajo control, el proceso está controlado estadísticamente en términos del promedio del proceso y la variabilidad del proceso. Siga tomando muestras y monitoree el proceso. Si alguna de ellas está fuera de control, busque las causas asignables, corríjalas y regrese al paso 1. Si no logra encontrar ninguna causa asignable después de realizar una búsqueda cuidadosa, suponga que los puntos fuera de control representan causas comunes de variación y continúe monitoreando el proceso.

Uso de gráficos $\bar{x}$ y R para monitorear un proceso

EJEMPLO **6.1**

La dirección de West Allis Industries está preocupada por la producción de un tornillo de metal especial que usan algunos de los clientes más importantes de la compañía. El diámetro del tornillo es crucial para el cliente. Los datos de cinco muestras aparecen en la tabla adjunta. El tamaño de la muestra es 4. ¿El proceso está bajo control estadístico?



MODELO ACTIVO 6.1

El modelo activo 6.1 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre los gráficos *x* barra y *R* y sus usos para el problema del tornillo de metal.



TUTOR 6.1

El tutor 6.1 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el uso de los gráficos *x* barra y *R*.

SOLUCIÓN

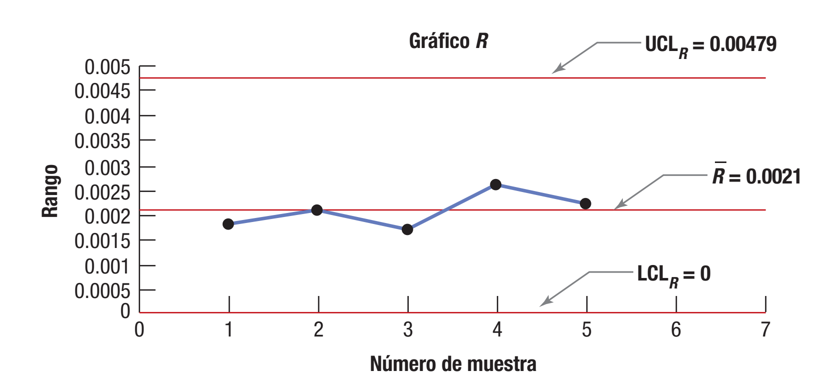
Paso 1: Para simplificar, se usan solamente 5 muestras. En la práctica, sería conveniente usar más de 20 muestras. Los datos se presentan en la tabla siguiente.

Datos para los gráficos $\bar{x}$ y R: observaciones sobre el diámetro del tornillo (pulg)

	Observación					
Número de la muestra	**1**	**2**	**3**	**4**	**R**	**$\bar{x}$**
1	0.5014	0.5022	0.5009	0.5027	0.0018	0.5018
2	0.5021	0.5041	0.5024	0.5020	0.0021	0.5027
3	0.5018	0.5026	0.5035	0.5023	0.0017	0.5026
4	0.5008	0.5034	0.5024	0.5015	0.0026	0.5020
5	0.5041	0.5056	0.5034	0.5047	0.0022	0.5045
				Promedio	0.0021	0.5027

FIGURA 6.7

Gráfico de rango, creado con el *solver* para gráficos $\bar{x}$ y *R* de OM Explorer, para el tornillo de metal, que muestra que la variabilidad del proceso está bajo control



Paso 2: Calcule el rango para cada muestra, restando el valor más bajo del más alto. Por ejemplo, en la muestra 1, el rango es 0.5027 – 0.5009 = 0.0018 pulg. Igualmente, los rangos para las muestras 2, 3, 4 y 5 son 0.0021, 0.0017, 0.0026 y 0.0022 pulg, respectivamente. Como se aprecia en la tabla, $\bar{R} = 0.0021$.

Paso 3: Para construir el gráfico *R*, seleccione las constantes apropiadas en la tabla 6.1 para un tamaño de muestra de 4. Los límites de control son:

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 2.282(0.0021) = 0.00479 \text{ pulg}$$
$$LCL_R = D_3\bar{R} = 0(0.0021) = 0 \text{ pulg}$$

Paso 4: Trace los rangos en el gráfico *R*, como muestra la figura 6.7. Ninguno de los rangos de la muestra queda fuera de los límites de control. En consecuencia, la variabilidad del proceso está bajo control estadístico. Si alguno de los rangos de la muestra queda fuera de esos límites o aparece un patrón fuera de lo común (figura 6.6), tendríamos que buscar las causas de la variabilidad excesiva, corregirlas y repetir el paso 1.

Paso 5: Calcule la media de cada muestra. Por ejemplo, la media de la muestra 1 es

$$\frac{0.5014 + 0.5022 + 0.5009 + 0.5027}{4} = 0.5018 \text{ pulg}$$

Del mismo modo, las medias de las muestras 2, 3, 4 y 5 son 0.5027, 0.5026, 0.5020 y 0.5045 pulg, respectivamente. Como se ilustra en la tabla, $\bar{\bar{x}} = 0.5027$.

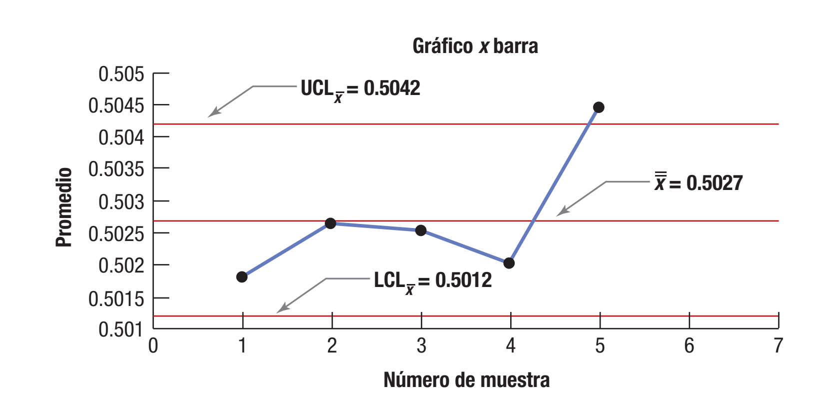
Paso 6: Ahora construya el gráfico $\bar{x}$ para el promedio del proceso. El diámetro promedio del tornillo es de 0.5027 pulg, y el rango promedio es de 0.0021 pulg, por lo cual puede usar $\bar{\bar{x}} = 0.5027$, $\bar{R} = 0.0021$, y A_2 que aparece en la tabla 6.1, para un tamaño de muestra de 4, para construir los límites de control:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 0.5027 + 0.729(0.0021) = 0.5042 \text{ pulg}$$
$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 0.5027 - 0.729(0.0021) = 0.5012 \text{ pulg}$$

Paso 7: Trace las medias de la muestra en el gráfico de control, como se muestra en la figura 6.8.

FIGURA 6.8

Gráfico $\bar{x}$ creado con el *solver* para gráficos $\bar{x}$ y *R* de OM Explorer, para el tornillo de metal, en el que se aprecia que la muestra 5 está fuera de control



La media de la muestra 5 queda por arriba del UCL, lo que indica que el promedio del proceso está fuera de control y que es necesario explorar las causas asignables, tal vez con la ayuda de un diagrama de causa y efecto.

Punto de decisión Un empleado de nuevo ingreso operó el torno con el que se produce el tornillo el día en que se tomó la muestra. Para resolver el problema, la gerencia inició una sesión de capacitación para el empleado. Posteriormente, se tomaron otras muestras que indicaron que el proceso estaba nuevamente bajo control estadístico.

Si se conoce la desviación estándar de la distribución del proceso, es posible usar otra forma del gráfico $\bar{x}$:

$$\text{UCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} \quad \text{y} \quad \text{LCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}}$$

donde

$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$ = desviación estándar de las medias de la muestra

σ = desviación estándar de la distribución del proceso

n = tamaño de la muestra

$\bar{\bar{x}}$ = línea central del gráfico, que puede ser el promedio de las medias de muestras pasadas o un valor establecido como objetivo para el proceso

z = desvío normal (número de desviaciones estándar con respecto al promedio)

El analista puede emplear un gráfico R para asegurarse de que la variabilidad del proceso está bajo control antes de construir el gráfico $\bar{x}$. La ventaja de usar esta forma del gráfico $\bar{x}$ es que el analista tiene la posibilidad de ajustar la extensión de los límites de control modificando el valor de z. Este enfoque puede ser útil para equilibrar los efectos de los errores tipo I y tipo II.

Diseño de un gráfico $\bar{x}$ usando la desviación estándar del proceso — EJEMPLO **6.2**

Sunny Dale Bank monitorea el tiempo que se requiere para atender a los clientes en la ventanilla para automovilistas porque éste es un factor de calidad importante para competir con otros bancos de la ciudad. Después de analizar los datos recopilados en un estudio exhaustivo de las operaciones de la ventanilla, la gerencia del banco determinó que el tiempo medio necesario para atender a un cliente en las horas pico de demanda es de 5 minutos, con una desviación estándar de 1.5 minutos. La gerencia desea monitorear el tiempo medio requerido para atender a un cliente, utilizando periódicamente un tamaño de muestra de seis clientes. Suponga que la variabilidad del proceso está bajo control estadístico. Diseñe un gráfico $\bar{x}$ que tenga un error tipo I de 5%. Es decir, establezca los límites de control de tal modo que exista una probabilidad de 2.5% de que uno de los resultados de la muestre se ubique por debajo del LCL y una probabilidad de 2.5% de que uno de los resultados de la muestre se ubique por arriba del UCL. Después de varias semanas de muestreo, cos muestras sucesivas arrojaron 3.70 y 3.68 minutos, respectivamente. ¿El proceso de atención a clientes está bajo control estadístico?

SOLUCIÓN

$$\bar{\bar{x}} = 5.0 \text{ minutos}$$
$$\sigma = 1.5 \text{ minutos}$$
$$n = 6 \text{ clientes}$$
$$z = 1.96$$

La variabilidad del proceso está bajo control estadístico, por lo cual pasamos directamente al gráfico $\bar{x}$. Los límites de control son:

$$\text{UCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma/\sqrt{n} = 5.0 + 1.96(1.5)/\sqrt{6} = 6.20 \text{ minutos}$$
$$\text{LCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma/\sqrt{n} = 5.0 - 1.96(1.5)/\sqrt{6} = 3.80 \text{ minutos}$$

El valor de z puede obtenerse de la siguiente forma: la tabla de distribución normal (véase el apéndice "Distribución normal") indica la proporción del área total debajo de la curva normal desde $-\infty$ hasta z. Nos interesa un error tipo I de 5%,

o 2.5% de la curva encima del UCL y 2.5% debajo del LCL. En consecuencia, es necesario encontrar el valor *z* en la tabla que deje sólo 2.5% en la porción superior de la curva normal (o sea, 0.9750 en la tabla). El valor es 1.96. Las dos nuevas muestras se ubican por debajo del LCL del gráfico, lo que implica que el tiempo promedio para atender a un cliente ha disminuido. Deben explorarse las causas asignables para ver qué provocó la mejoría.

Punto de decisión La gerencia estudió el periodo en el que se tomaron las muestras y descubrió que el supervisor del proceso estaba experimentando con algunos procedimientos nuevos. La gerencia decidió incorporar de manera permanente estos nuevos procedimientos al proceso de atención a clientes. Después de capacitar a todos los empleados en los nuevos procedimientos, se tomaron nuevas muestras y se reconstruyó el gráfico de control.

GRÁFICOS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

Dos gráficos que se utilizan comúnmente para realizar mediciones de desempeño basadas en los atributos son el gráfico *p* y el gráfico *c*. El gráfico *p* se emplea para controlar la proporción de defectos generados por el proceso. El gráfico *c* se utiliza para controlar el número de defectos cuando puede haber más de un defecto en un servicio o producto.

gráfico *p*

Gráfico que se usa para controlar la proporción de servicios o productos defectuosos generados por el proceso.

Gráficos *p* El **gráfico *p*** es un gráfico de control que se usa comúnmente para representar atributos. La característica de desempeño no se mide en este caso, sino que se cuenta, y el elemento o servicio se declara satisfactorio o deficiente en su totalidad. Por ejemplo, en la industria bancaria, los atributos que se cuentan pueden ser el número de depósitos no endosados o el número de estados financieros incorrectos que se envían a los clientes. Este método implica seleccionar una muestra aleatoria, examinar cada uno de sus elementos y calcular la proporción de la muestra que presenta defectos, *p*, que equivale al número de unidades defectuosas dividido entre el tamaño de la muestra.

En el caso de un gráfico *p*, el muestreo implica una decisión de sí o no: el producto del proceso examinado tiene defectos o no. La distribución estadística subyacente se basa en la distribución binomial. Sin embargo, si los tamaños de muestra son grandes, la distribución normal proporciona una buena aproximación a ese respecto. La desviación estándar de la distribución de la proporción defectuosa, σ_p, es entonces:

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

donde

n = tamaño de la muestra

$\bar{p}$ = línea central del gráfico, que puede ser la proporción defectuosa de la población histórica promedio, o un valor objetivo

Se puede usar σ_p para obtener los límites de control superior e inferior para un gráfico *p:*

$$\text{UCL}_p = \bar{p} + z\sigma_p \quad \text{y} \quad \text{LCL}_p = \bar{p} - z\sigma_p$$

donde

z = desvío normal (número de desviaciones estándar con respecto al promedio)

El gráfico se usa de la siguiente forma. Periódicamente se toma una muestra aleatoria de tamaño *n* y se cuenta el número de productos o servicios defectuosos. El número de elementos defectuosos se divide entre el tamaño de la muestra para obtener una proporción de muestra defectuosa, *p*, la cual se traza después en el gráfico. Cuando una proporción de muestra defectuosa queda fuera de los límites de control, el analista supone que la proporción defectuosa generada por el proceso ha cambiado y busca la causa asignable. Las observaciones que se ubican por debajo del LCL_p indican que el proceso puede haber mejorado en realidad. Es posible que el analista no logre encontrar ninguna causa asignable porque siempre existe la posibilidad de que una proporción fuera de control se haya producido de manera fortuita. Sin embargo, si el analista descubre causas asignables, esos datos de muestra no deben usarse para calcular los límites de control para el gráfico.

Uso de un gráfico *p* para monitorear un proceso

EJEMPLO 6.3

Al gerente de operaciones del departamento de servicios de registro del Hometown Bank le preocupa la gran cantidad de errores que comete el personal del banco al registrar los números de cuenta de los clientes. Cada semana se toma una muestra aleatoria de 2500 depósitos y se anota la cantidad de números de cuenta registrados incorrectamente. Los resultados de las doce últimas semanas se presentan en la siguiente tabla. ¿El proceso de registro está fuera de control estadístico? Use límites de control tres sigma.

Número de muestra	Números de cuenta equivocados	Número de muestra	Números de cuenta equivocados
1	15	7	24
2	12	8	7
3	19	9	10
4	2	10	17
5	19	11	15
6	4	12	3
		Total	147



MODELO ACTIVO 6.2

El modelo activo 6.2 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el gráfico *p* y sus usos para el departamento de servicios de registro.



TUTOR 6.2

El tutor 6.2 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el uso del gráfico *p*.

SOLUCIÓN

Paso 1: Use estos datos de muestra para calcular el gráfico *p* barra

$$\bar{p} = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Número total de observaciones}} = \frac{147}{12(2{,}500)} = 0.0049$$

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = \sqrt{0.0049(1-0.0049)/2{,}500} = 0.0014$$

$$UCL_p = \bar{p} + z\sigma_p = 0.0049 + 3(0.0014) = 0.0091$$

$$LCL_p = \bar{p} - z\sigma_p = 0.0049 - 3(0.0014) = 0.0007$$

Paso 2: Calcule la proporción defectuosa de la muestra. En el caso de la muestra 1, la proporción de elementos defectuosos es de 15/2,500 = 0.0060.

Paso 3: Trace en el gráfico cada una de las proporciones defectuosas de la muestra, como se ilustra en la figura 6.9.

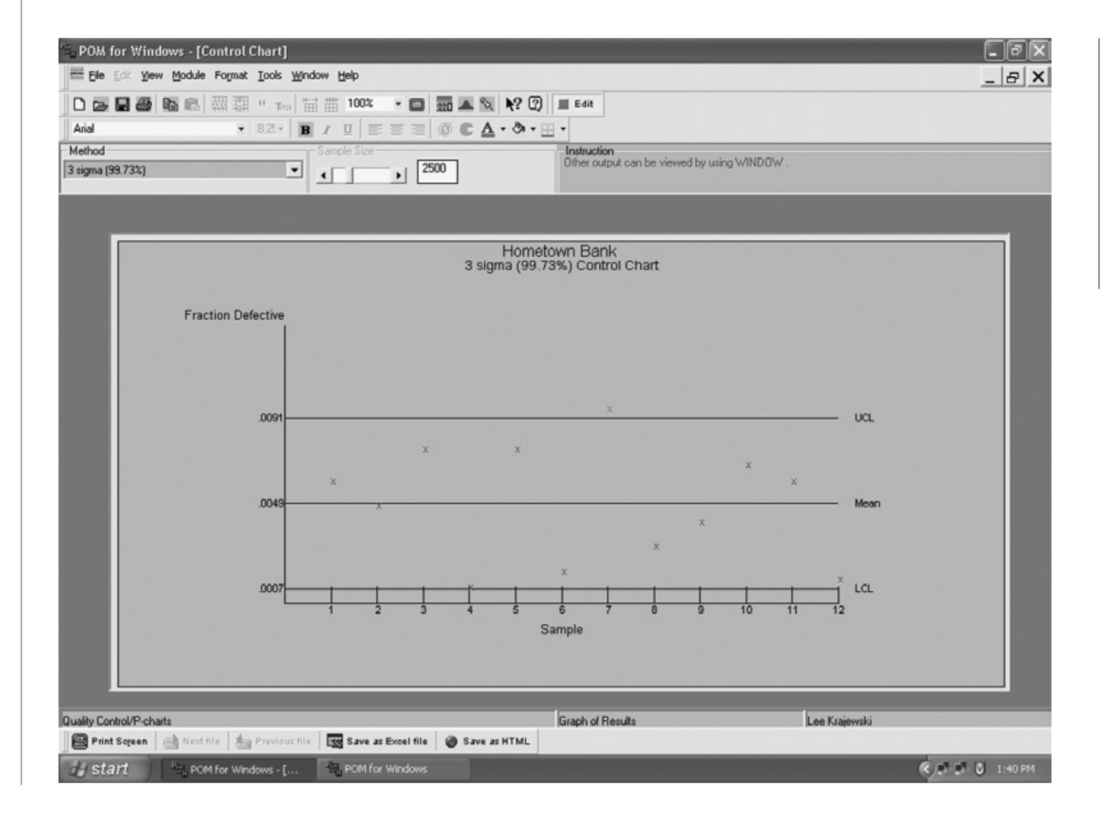


FIGURA 6.9

El gráfico *p*, creado con POM para Windows, de los números de cuenta equivocados, donde se ve que la muestra 7 está fuera de control

La muestra 7 rebasa el UCL; por lo tanto, el proceso está fuera de control y será necesario determinar las razones del desempeño deficiente en esa semana.

Punto de decisión La gerencia investigó las circunstancias en que se tomó la muestra 7. La máquina codificadora que se utiliza para imprimir los números de cuenta en los cheques tuvo una falla esa semana. La máquina se reparó en la semana siguiente; sin embargo, el mantenimiento preventivo recomendado para la máquina no se realizó durante meses antes de la falla. La gerencia revisó el desempeño del departamento de mantenimiento e instituyó cambios en los procedimientos de mantenimiento de la máquina codificadora. Después de que se corrigió el problema, un analista volvió a calcular los límites de control usando lo datos sin la muestra 7. Se tomaron varias muestras en las semanas posteriores, y se determinó que el proceso de registro estaba bajo control estadístico. En consecuencia, el gráfico *p* proporciona una herramienta que sirve para indicar cuándo requiere ajustes un proceso.

gráfico *c*

Gráfico que se usa para controlar el número de defectos cuando es posible que se presente más de un defecto en un servicio o producto.

Gráficos *c* A veces, los servicios o productos tienen más de un defecto. Por ejemplo, un rollo de alfombra puede tener varios defectos, como fibras aglutinadas o decoloradas o manchas originadas en el proceso de producción. Otras situaciones, en las que es posible que se presente más de un defecto, son: los accidentes que ocurren en una intersección específica, las burbujas en el tablero frontal de la pantalla de un televisor, y las quejas de los huéspedes de un hotel. Cuando a la gerencia le interesa reducir el número de defectos por unidad o por encuentro de servicio, resulta útil otro tipo de gráfico de control, el **gráfico *c*.**

La distribución de muestreo subyacente en un gráfico *c* corresponde a la distribución de Poisson. Ésta se basa en el supuesto de que los defectos se presentan dentro de una región continua en la superficie de un producto o un intervalo de tiempo continuo durante la prestación de un servicio. Además, presupone que la probabilidad de que dos o más defectos se presenten en un mismo lugar en la superficie o en el mismo instante es insignificante. La media de la distribución es $\bar{c}$, y la desviación estándar es $\sqrt{\bar{c}}$. Una táctica útil consiste en usar la aproximación normal a la distribución de Poisson para que la línea central del gráfico sea $\bar{c}$, y los límites de control sean:

$$\text{UCL}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} \quad \text{y} \quad \text{LCL}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}}$$

EJEMPLO 6.4 Uso de un gráfico *c* para monitorear defectos por unidad

TUTOR 6.3

El tutor 6.3 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el uso del gráfico *c*.

Woodland Paper Company fabrica papel para la industria editorial de periódicos. En la fase final del proceso, el papel pasa por una máquina que mide varias características de calidad del producto. Cuando el proceso de producción de papel está bajo control, el promedio es de 20 defectos por cada rollo.

a. Elabore un gráfico de control para el número de defectos por rollo. Para este ejemplo, use límites de control dos sigma.

b. Cinco rollos tuvieron el siguiente número de defectos: 16, 21, 17, 22 y 24, respectivamente. El sexto rollo, en el se usó pulpa de otro proveedor, tuvo 5 defectos. ¿El proceso de producción de papel está bajo control?

SOLUCIÓN

a. El número promedio de defectos por rollo es de 20. Por lo tanto:

$$\text{UCL}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} = 20 + 2(\sqrt{20}) = 28.94$$

$$\text{LCL}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} = 20 - 2(\sqrt{20}) = 11.06$$

El gráfico de control se muestra en la figura 6.10.

b. En virtud de que los primeros cinco rollos tenían defectos que se ubicaban dentro de los límites de control, el proceso sigue estando bajo control. Sin embargo, cinco defectos son menos que el valor del LCL y, por consiguiente, el proceso se encuentra técnicamente "fuera de control". El gráfico de control indica que ha sucedido algo bueno.

Punto de decisión Woodland Paper trabaja con el proveedor de las primeras cinco muestras desde hace muchos años. El proveedor de la sexta muestra es nuevo en la compañía. La gerencia decidió seguir trabajando con el nuevo proveedor por un tiempo y monitorear el número de defectos para ver si sigue siendo igual de bajo. Si el número continúa ubicándose por debajo del LCL en 20 muestras consecutivas, la gerencia cambiará de proveedor permanentemente y volverá a calcular los parámetros del gráfico de control.

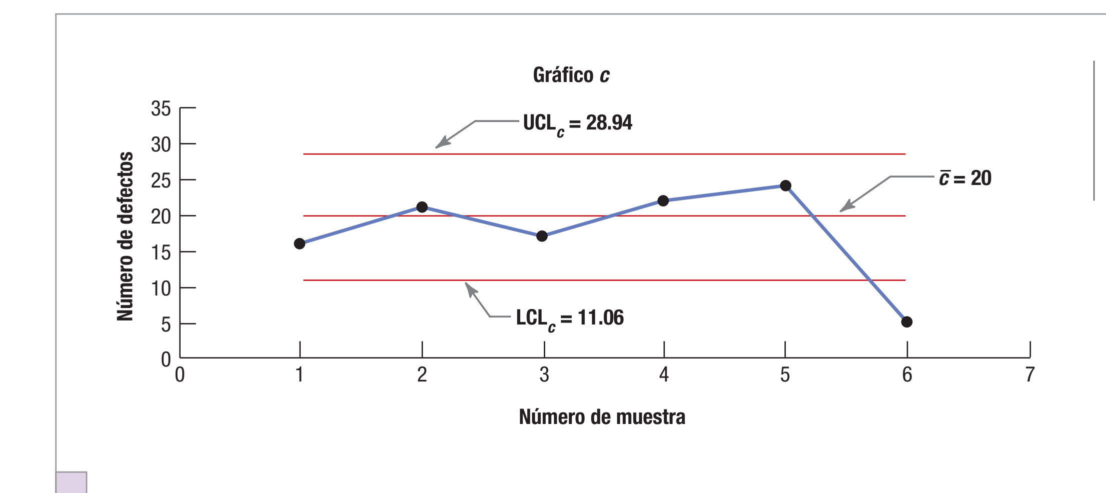


FIGURA 6.10

Gráfico *c*, creado con el *solver* para gráficos *c* de OM Explorer, para los defectos por rollo de papel

CAPACIDAD DE PROCESO

Las técnicas de control estadístico de procesos ayudan a los gerentes a lograr y mantener una distribución de procesos que no cambia en términos de su media y varianza. Los límites de control establecidos en el gráfico de control señalan cuando la media o la variabilidad del proceso cambia. Sin embargo, un proceso que se encuentra bajo control estadístico no siempre genera productos o servicios de acuerdo con sus respectivas especificaciones de diseño, porque los límites de control están basados en la media y la variabilidad de la *distribución de muestreo*, y no en las especificaciones de diseño. La **capacidad de proceso** se refiere a la capacidad de un proceso para ajustarse a las especificaciones de diseño de un producto o servicio dado. Las especificaciones de diseño se expresan a menudo como un **valor nominal**, u objetivo, y como una **tolerancia**, o margen aceptable por encima o por debajo del valor nominal.

capacidad de proceso
La capacidad del proceso para ajustarse a las especificaciones de diseño de un producto o servicio dado.

valor nominal
Objetivo de las especificaciones de diseño.

tolerancia
Margen aceptable por encima o por debajo del valor nominal.

Por ejemplo, el administrador del laboratorio de una unidad de cuidados intensivos podría tener un valor nominal de 25 minutos para el tiempo de entrega de los resultados a los médicos tratantes y una tolerancia de ±5 minutos debido a la necesidad de actuar con celeridad en condiciones de vida o muerte. La tolerancia arroja una *especificación superior* de 30 minutos y una *especificación inferior* de 20 minutos. El proceso de laboratorio debe ser capaz de proporcionar los resultados de los análisis dentro de estas especificaciones; de lo contrario, producirá cierta proporción de "defectos". Al administrador le interesa también detectar los casos en los que la entrega de resultados se efectúa en menos de 20 minutos, porque al estudiarlos tal vez se aprenda algo que podría incorporarse en el futuro al proceso de laboratorio. Por el momento, a los médicos les satisface que los resultados lleguen dentro del plazo de 20 a 30 minutos.

DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD DE PROCESO

La figura 6.11 muestra la relación entre la distribución de un proceso y las especificaciones superior e inferior para el tiempo de entrega de resultados en el proceso de laboratorio, en dos condiciones diferentes. En la figura 6.11(a), se dice que el proceso es capaz porque los extremos de la distribución del proceso se encuentran dentro de las especificaciones superior e inferior. En la figura 6.11(b), el proceso no es capaz porque el proceso de laboratorio produce demasiados informes con tiempos de entrega largos.

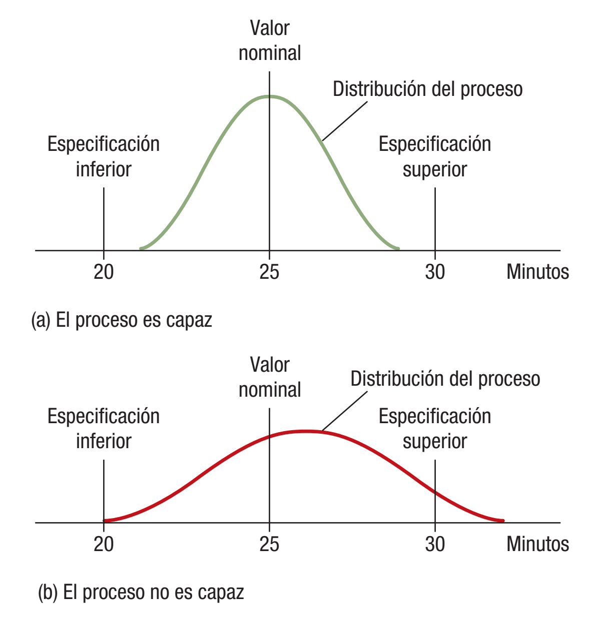
La figura 6.11 muestra claramente por qué están tan preocupados los gerentes por reducir la variabilidad del proceso. Cuanto menor sea la variabilidad (representada por desviaciones estándar más bajas), tanto menos frecuente será la producción deficiente. La figura 6.12 muestra lo que la reducción de la variabilidad significa para una distribución de proceso que es una distribución normal de probabilidades. La empresa que tiene calidad dos sigma (los límites de tolerancia son iguales a la media de la distribución del proceso, ±2 desviaciones estándar) produce 4.56% de defectos, es decir, 45,600 defectos por millón. La empresa que tiene calidad cuatro sigma produce sólo 0.0063% de defectos, es decir, 63 defectos por millón. Por último, la empresa con calidad seis sigma produce únicamente 0.0000002% de defectos, es decir, 0.002 defectos por millón.[2]

¿Cómo puede determinar en términos cuantitativos un gerente si un proceso es capaz? En la práctica, se utilizan comúnmente dos mediciones para evaluar la capacidad de un proceso: la razón de capacidad de proceso y el índice de capacidad de proceso.

[2]En esta exposición se supone que la distribución del proceso no tiene causas asignables. Sin embargo, los programas Six Sigma definen el desempeño defectuoso con el supuesto de que el promedio del proceso se ha movido 1.5 desviaciones estándar. Six Sigma se estudia más adelante en el capítulo.

FIGURA 6.11

Relación entre la distribución de un proceso y las especificaciones superior e inferior



Razón de capacidad de proceso Un proceso es *capaz* si tiene una distribución de proceso cuyos valores extremos se localizan dentro de las especificaciones superior e inferior para un producto o servicio. En términos generales, la mayoría de los valores de una distribución de proceso se encuentran dentro de ±3 desviaciones estándar de la media. Por ejemplo, si la distribución del proceso es normal, 99.74% de los valores se ubicarán dentro de ±3 desviaciones estándar. En otras palabras, el rango de valores de la medición de calidad que genera el proceso es de aproximadamente seis desviaciones estándar de la distribución del proceso. Por lo tanto, si un proceso es capaz, la diferencia entre la especificación superior y la inferior, conocida como *amplitud de tolerancia,* debe ser mayor que seis desviaciones estándar. La **razón de capacidad de proceso**, C_p, se define como:



razón de capacidad de proceso, C_p

La amplitud de tolerancia dividida entre seis desviaciones estándar (variabilidad del proceso).

$$C_p = \frac{\text{Especificación superior} - \text{Especificación inferior}}{6\sigma}$$

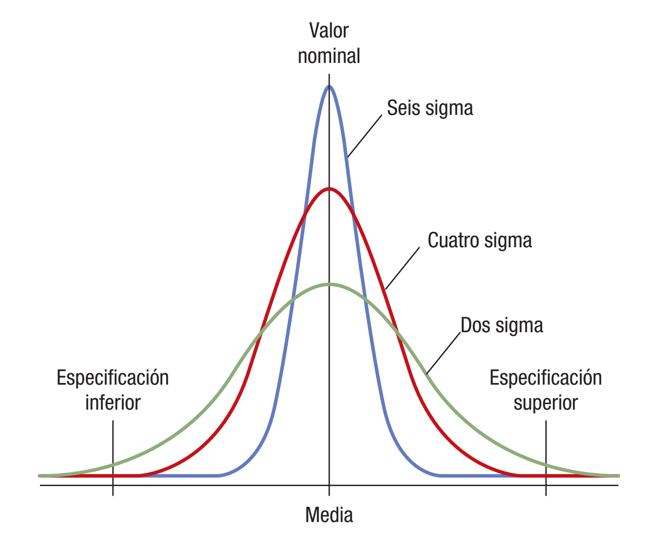
donde

σ = desviación estándar de la distribución del proceso

Un valor C_p de 1.0 implica que la empresa está produciendo calidad tres sigma (0.26% de defectos) y que el proceso sistemáticamente produce productos que se encuentran dentro de las especificaciones, aunque se generen algunos defectos. Los valores C_p mayores que 1.0 implican niveles más altos de calidad alcanzados. Las empresas que se esfuerzan por lograr una calidad mayor que tres sigma usan un valor crítico para la razón que es superior a 1.0. Por ejemplo, una

FIGURA 6.12

Efectos de reducir la variabilidad en la capacidad de proceso



empresa que se ha fijado como objetivo la calidad seis sigma usará 2.0; una empresa que desea producir calidad cinco sigma usará 1.67; y una empresa que se esfuerce por producir calidad cuatro sigma usará 1.33. Los procesos que producen servicios o productos con calidad inferior a tres sigma tienen valores C_p menores que 1.0.

Índice de capacidad de proceso El proceso es capaz solamente cuando la razón de capacidad es mayor que el valor crítico y la distribución del proceso se centra en el valor nominal de las especificaciones de diseño. Por ejemplo, el proceso de laboratorio puede tener una razón de capacidad de proceso mayor que 1.33 para el tiempo de entrega. Sin embargo, si la media de la distribución del producto del proceso, $\bar{\bar{x}}$, se encuentra más cerca de la especificación superior, todavía es posible que se generen tiempos de entrega prolongados. Asimismo, si $\bar{\bar{x}}$ se localiza más cerca de la especificación inferior, es probable que se generen tiempos muy cortos. Así pues, es necesario calcular un índice de capacidad que mida el potencial del proceso para generar productos que se ubiquen fuera de la especificación superior o inferior.

índice de capacidad de proceso, C_{pk}
Índice que mide el potencial del proceso para generar productos defectuosos en relación con la especificación superior o inferior.

El **índice de capacidad de proceso**, $\mathbf{C_{pk}}$, se define como:

$$C_{pk} = \text{Mínimo de}\left[\frac{\bar{\bar{x}} - \text{Especificación inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{Especificación superior} - \bar{\bar{x}}}{3\sigma}\right]$$

Elegimos el valor mínimo de las dos razones porque representa la situación que ocurriría en el *peor caso* posible. Si C_{pk} es mayor que el valor crítico (digamos, 1.33 para calidad cuatro sigma) y la razón de capacidad de proceso también es mayor que el valor crítico, podemos afirmar por fin que el proceso es capaz. Si C_{pk} es menor que el valor crítico, el promedio del proceso se ubicará cerca de alguno de los límites de tolerancia y se estarán generando productos defectuosos, o bien, la variabilidad del proceso es demasiado grande.

El índice de capacidad siempre será menor o igual que la razón de capacidad. Debido a esto, el índice de capacidad puede usarse como primera verificación de la capacidad; si el índice de capacidad pasa la prueba, el proceso puede declararse capaz. Si no aprueba, deberá calcularse la razón de capacidad de proceso para ver si la variabilidad de éste es la causa del problema. Cuando C_{pk} es igual a C_p, el proceso está centrado entre las especificaciones superior e inferior, por lo cual la media de la distribución del proceso está centrada en el valor nominal de las especificaciones de diseño.

USO DEL MEJORAMIENTO CONTINUO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE UN PROCESO

Para determinar la capacidad de un proceso para producir productos dentro de los límites de tolerancia, siga estos pasos:

Paso 1. Recabe datos sobre la producción del proceso y calcule la media y la desviación estándar de la distribución de la producción del proceso.

Paso 2. Use los datos de la distribución del proceso para calcular gráficos de control de procesos, como un gráfico $\bar{x}$ o un gráfico *R*.

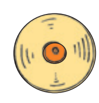
Paso 3. Tome una serie de muestras aleatorias del proceso y trace los resultados en los gráficos de control. Si por lo menos 20 muestras consecutivas se ubican dentro de los límites de control de los gráficos, el proceso está bajo control estadístico. Si el proceso no está bajo control estadístico, busque las causas asignables y elimínelas. Vuelva a calcular la media y la desviación estándar de la distribución del proceso y los límites de control para los gráficos. Continúe hasta que el proceso se encuentre bajo control estadístico.

Paso 4. Calcule el índice de capacidad de proceso y la razón de capacidad de proceso. Si los resultados son aceptables, documente los cambios que se hayan introducido en el proceso y continúe observando la producción con ayuda de los gráficos de control. Si los resultados son inaceptables, siga explorando las causas asignables a efecto de reducir la varianza en la producción o centrar la distribución del proceso en el valor nominal. A medida que realice los cambios, vuelva a calcular la media y la desviación estándar de la distribución del proceso y los límites de control para los gráficos, y repita el paso 3.

Evaluación de la capacidad de proceso del laboratorio de la unidad de cuidados intensivos

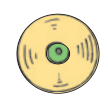
EJEMPLO **6.5**

El proceso de laboratorio de la unidad de cuidados intensivos tiene un tiempo promedio de entrega de 26.2 minutos y una desviación estándar de 1.35 minutos. El valor nominal de este servicio es de 25 minutos con un límite de especificación superior de 30 minutos y un límite de especificación inferior de 20 minutos. La administradora del laboratorio quiere que éste tenga un desempeño cuatro sigma. ¿El proceso de laboratorio es capaz de producir este nivel de desempeño?



MODELO ACTIVO 6.3

El modelo activo 6.3 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el problema de la capacidad de proceso en el laboratorio de la unidad de cuidados intensivos.



TUTOR 6.4

El tutor 6.4 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar las mediciones de la capacidad de proceso.

SOLUCIÓN

Para empezar, la administradora efectuó una verificación rápida para ver si el proceso era capaz. Para ello, aplicó el índice de capacidad de proceso:

$$\text{Cálculo de la especificación inferior} = \frac{26.2-20.0}{3(1.35)} = 1.53$$

$$\text{Cálculo de la especificación superior} = \frac{30.0-26.2}{3(1.35)} = 0.94$$

$$C_{pk} = \text{Mínimo de}[1.53, 0.94] = 0.94$$

Puesto que el valor objetivo del desempeño cuatro sigma es 1.33, el índice de capacidad de proceso le indicó que el proceso no era capaz. Sin embargo, ella no sabía si el problema era la variabilidad del proceso, si el proceso estaba descentrado, o las dos cosas. Las opciones disponibles para mejorar el proceso dependían de lo que no marchara bien.

A continuación, la administradora examinó la variabilidad del proceso con la razón de capacidad de proceso:

$$C_p = \frac{30.0-20.0}{6(1.35)} = 1.23$$

La variabilidad del proceso no cumplía el objetivo cuatro sigma de 1.33. En consecuencia, la administradora emprendió un estudio para ver dónde se introducía variabilidad en el proceso. Se identificaron dos actividades, la preparación de informes y la preparación de muestras para el microscopio, que tenían procedimientos inconsistentes. Dichos procedimientos se modificaron para que produjeran desempeño uniforme. Se recopilaron nuevos datos y el tiempo promedio de entrega fue de 26.1 minutos con una desviación estándar de 1.20 minutos. La variabilidad del proceso alcanzó el nivel de desempeño cuatro sigma, como lo indica la razón de capacidad de proceso:

$$C_p = \frac{30.0-20.0}{6(1.20)} = 1.39$$

Sin embargo, el índice de capacidad de proceso indicaba otros problemas que había que resolver:

$$C_{pk} = \text{Mínimo de}\left[\frac{(26.1-20.0)}{3(1.20)}, \frac{(30.0-26.1)}{3(1.20)}\right] = 1.08$$

Punto de decisión El proceso de laboratorio aún no alcanzaba el nivel de desempeño cuatro sigma en cuanto se refiere al tiempo de entrega. La administradora del laboratorio buscó las causas de la distribución descentrada del tiempo de entrega. Descubrió retrasos periódicos en uno de los equipos de prueba más importantes. La adquisición de una segunda máquina proporcionó la capacidad necesaria para reducir los plazos de entrega a la capacidad cuatro sigma.

INGENIERÍA DE LA CALIDAD

ingeniería de la calidad

Enfoque creado por Genichi Taguchi en el que la ingeniería se combina con métodos estadísticos para reducir los costos y mejorar la calidad mediante la optimización del diseño de los productos y los procesos de manufactura.

función de pérdida de calidad

La idea de que un servicio o producto que apenas se ajusta a las especificaciones se parece más a un servicio o producto defectuoso que a uno perfecto.

Creada por Genichi Taguchi, la **ingeniería de la calidad** es un enfoque en el que la ingeniería se combina con métodos estadísticos para reducir los costos y mejorar la calidad mediante la optimización del diseño de los productos y los procesos de manufactura. Taguchi cree que los costos no deseados se relacionan con *cualquier* desviación del valor objetivo de una característica de la calidad. Desde el punto de vista de Taguchi, el valor de la **función de pérdida de calidad** es cero cuando las características de calidad de un producto o servicio tienen exactamente el valor objetivo, y el valor de dicha función aumenta exponencialmente a medida que las características de calidad se aproximan a los límites de tolerancia. La razón de esto es que cuando un servicio o producto apenas se ajusta a las especificaciones, se parece más a un servicio o producto defectuoso que a uno perfecto. La figura 6.13 muestra esquemáticamente la función de pérdida de calidad de Taguchi. La conclusión de Taguchi es que los gerentes deben buscar continuamente métodos para reducir *todas* las formas de variabilidad del valor objetivo en el proceso de producción y no conformarse simplemente con observar los límites señalados en las especificaciones.

> SIX SIGMA <

Six Sigma

Sistema integral y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito de una empresa mediante la minimización de los defectos y la variabilidad en los procesos.

Hemos visto cómo la TQM y el SPC mejoran el desempeño y la calidad de los procesos. No obstante, otro método, que se basa en buena medida en los principios y herramientas de la TQM, ha adquirido popularidad. **Six Sigma** es un sistema integral y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito de una empresa mediante la minimización de los defectos y la variabilidad en los procesos. Los programas Six Sigma se basan en la comprensión cabal de las necesidades del cliente;

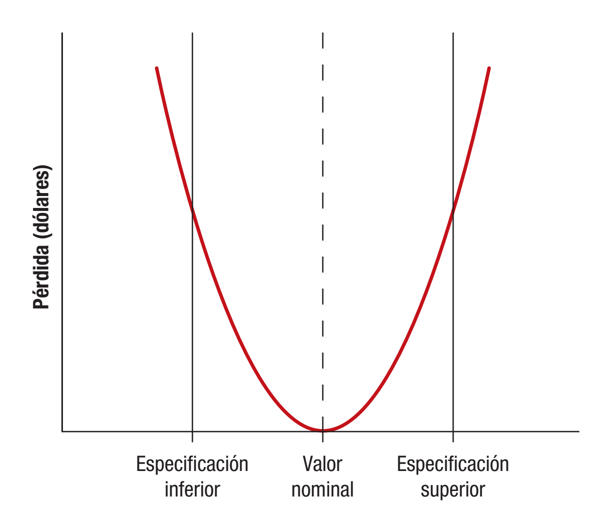


FIGURA 6.13

Función de pérdida de calidad de Taguchi

el uso disciplinado de hechos, datos y análisis estadístico; y la atención diligente a la administración, mejoramiento y reinvención de los procesos empresariales. Aunque muchos de los principios y herramientas de Six Sigma se parecen a los de la TQM, el método tiene más formalidad que ésta.

A Motorola se le atribuye el haber inventado el programa Six Sigma hace más de 20 años para mejorar su capacidad manufacturera en un mercado mundial que cada vez era más competitivo. La gerencia notó que algunos clientes se quejaban de la calidad de los productos de Motorola y que los productos de la competencia superaban a los propios. La respuesta inicial de Motorola fue establecer metas más exigentes para cada uno de sus procesos con el fin de reducir el número de defectos a una décima parte del nivel anterior de desempeño. Para alcanzar esta meta se requería trabajar de manera más inteligente y no sólo más ardua.

Al principio, Motorola pidió a sus empleados que propusieran ideas nuevas y realizó estudios de benchmarking de sus competidores. A continuación, se efectuaron cambios radicales en los programas de remuneración, premiación y capacitación de los empleados, así como en los procesos críticos. Los resultados fueron impresionantes. En una planta, al cabo de 10 meses el índice de defectos mejoró 70% y el desempeño aumentó 55%.

Los procedimientos para lograr esos resultados impresionantes se documentaron y pulieron, y desde entonces se les conoce como Six Sigma. Este nombre se relaciona con la meta de tener índices bajos de productos defectuosos, aun si el promedio del proceso se mueve 1.5 desviaciones estándar. El valor de 1.5 desviaciones estándar es un factor de corrección que se usa para explicar los cambios y tendencias de la media de los productos de un proceso debido a causas asignables en el largo plazo. Motorola descubrió que esta variación normalmente se ubicaba entre 1.4 y 1.6 desviaciones estándar. Partiendo de este supuesto, es muy probable que un proceso que alcanza el objetivo de calidad seis sigma produzca 3.4 defectos por millón de oportunidades en el largo plazo. Como se explicó anteriormente, sin un cambio en el promedio del proceso, un proceso que genera calidad seis sigma tendría sólo 0.002 defectos por millón de oportunidades.[3]

General Electric considera que Six Sigma es una estrategia, una disciplina y un conjunto de herramientas. Es una estrategia porque se centra en lo que el cliente quiere, trátese de un cliente interno o externo, y aspira a producir la satisfacción total del cliente. En consecuencia, Six Sigma redunda en mejores resultados empresariales, medidos en función de la participación de mercado, los ingresos y las utilidades. Es una disciplina porque tiene una secuencia formal de pasos, llamada Modelo de Mejoramiento Six Sigma, para lograr el mejoramiento deseado en el desempeño de los procesos. El objetivo es simplificar los procesos y cerrar las brechas entre las prioridades competitivas y las capacidades competitivas de un proceso. Finalmente, es un conjunto de herramientas porque hace uso de herramientas potentes, como las que se han presentado en este capítulo y en el capítulo 5, “Análisis de procesos”. Las herramientas ayudan a detectar si el desempeño del proceso no es el deseado, y proporcionan un vehículo para monitorear el desempeño de manera continua.

Aunque el origen de Six Sigma fue un esfuerzo por mejorar los procesos manufactureros, General Electric popularizó la aplicación del método a los procesos no manufactureros, como ventas, recursos humanos, atención a clientes y servicios financieros. El concepto de eliminar los defectos es el mismo, aunque la definición de “defecto” depende del proceso de que se trate. Por ejemplo, si un departamento de recursos humanos no cumple la meta establecida de contrata-

[3]Véase www.isixsigma.com/library/content/sigma_table.asp, donde encontrará una tabla completa de conversiones Six Sigma que se basan en el supuesto de 1.5 desviaciones estándar. En este sitio también se explican las razones que sustentan el uso de este supuesto.

ción, esto cuenta como un defecto. La aplicación de Six Sigma a los procesos de servicios es más complicada que con los procesos manufactureros por las razones siguientes:

1. El "producto del trabajo" es mucho más difícil de percibir porque a menudo consiste en información, solicitudes, pedidos, propuestas, presentaciones, reuniones, facturas, diseños e ideas. Los procesos de servicios suelen requerir el uso de computadoras y redes, a veces a escala internacional, que hacen que el proceso sea "virtual" y difícil de documentar. Este aspecto virtual dificulta que las personas que trabajan que las distintas áreas funcionales, como ventas, marketing y desarrollo de software, comprendan que en realidad forman parte de un proceso que necesita analizarse.
2. Los procesos de servicios pueden modificarse con rapidez. Es posible transferir responsabilidades, revisar formularios y agregar pasos nuevos sin invertir capital. Los procesos de servicios en muchas compañías evolucionan, se adaptan y crecen casi continuamente.
3. A menudo es difícil conseguir datos concretos sobre el desempeño de los procesos de servicios. Los datos que existen suelen ser anecdóticos o subjetivos. Es fácil ver pilas enormes de documentos sin procesar; sin embargo, no es fácil medir los atrasos, readaptaciones, demoras y costos de trabajar en ellos. Por ejemplo, es complicado racionalizar un proceso de cierre de préstamos porque en dicho proceso intervienen muchas personas y cada una de ellas le dedica solamente una pequeña parte de su jornada de trabajo.

A pesar de todas las dificultades, Six Sigma se ha aplicado con éxito a numerosos procesos de servicios, entre otros, los servicios financieros y los procesos de recursos humanos, marketing y administración del cuidado de la salud. La Práctica administrativa 6.3 muestra cómo se aplicó el programa Six Sigma en un hospital.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 6.3 APLICACIÓN DEL PROCESO SIX SIGMA EN EL SCOTTSDALE HEALTHCARE'S OSBORN HOSPITAL

Docenas de empresas importantes, como General Electric, Seagate Technology, Bombardier y AlliedSignal, han adoptado el proceso Six Sigma, que Motorola aplicó por primera vez en la década de 1980. Las aplicaciones iniciales se centraron en los procesos manufactureros, pero muchas aplicaciones recientes se centran en los procesos de servicios. La industria del cuidado de la salud es un ejemplo de ello.

En Scottsdale, Arizona, miles de aves de las nieves, visitantes en edad de jubilación que vienen del norte, llegan buscando el clima soleado de la ciudad durante el principio de la tradicional temporada de gripe. En combinación con los habitantes permanentes de Scottsdale, esta población crea una enorme demanda de servicios de urgencia en los hospitales, como el Scottsdale Healthcare's Osborn Hospital. En un periodo de seis meses, los hospitales de la zona reportaron más de 12,000 horas en las que cerraron sus puertas a nuevos pacientes y desviaron a las ambulancias hacia otros hospitales. El departamento de urgencias (DU) de Osborn, uno de los centros de traumatología con mayor movimiento, experimentó un incremento de 74% en su tasa de desviación y un alarmante aumento de 272% en el número de pacientes que voluntariamente abandonaban el DU antes de recibir atención. Los que se quedaban el tiempo suficiente para recibir tratamiento daban calificaciones de satisfacción muy bajas al DU en las encuestas de salida. El hospital estimó que podría perder $500,000 cada trimestre como resultado.

Los consultores especializados en Six Sigma trazaron un diagrama del proceso del DU de Osborn para identificar las posibles áreas problemáticas. Tres procesos anidados presentaron posibles cuellos de botella tan considerables que podrían aumentar la probabilidad de tener que remitir a los pacientes a otros hospitales. Las variables de interés en el proceso eran el tiempo de registro, el plazo de entrega de los estudios de laboratorio y radiología y el tiempo para transferir pacientes a las camas del hospital cuando era necesario internarlos.



Personal médico de traumatología conduce a una paciente a la sala de urgencias. Six Sigma puede usarse para mejorar los procesos de servicios como los que se prestan en los centros de traumatología.

Se recopilaron datos sobre estas variables del proceso para analizarlas. Se identificaron las mejoras que podían implantarse en los procesos y se estudió su factibilidad. Algunas de las mejoras propuestas se implementaron. Por ejemplo, el análisis reveló que el tiempo promedio para transferir a un paciente del DU era de 80 minutos. Sin embargo, durante 40 de esos minutos la cama del hospital estaba en realidad lista y esperando, lo que indujo al hospital a cambiar sus procedimientos para transferencias a camas de hospital. La identificación de las principales variables del proceso con herramientas Six Sigma permitió a los administradores del hospital rediseñar sus procesos.

Fuente: Ian R. Lazarus y Keith Butler, "The Promise of Six Sigma", *Managed Healthcare Executive*, octubre de 2001, pp. 22–26.

MODELO DE MEJORAMIENTO SIX SIGMA

La figura 6.14 muestra el Modelo de Mejoramiento Six Sigma, un procedimiento de cinco pasos que produce mejoras en el desempeño de los procesos. El modelo puede aplicarse a proyectos que introducen mejoras incrementales en los procesos o a proyectos que requieren cambios radicales, como el rediseño de un proceso existente o la creación de un nuevo proceso.

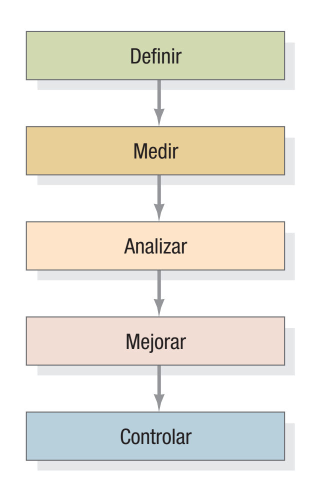


FIGURA 6.14

Modelo de Mejoramiento Six Sigma

- *Definir.* Determine las características de los productos del proceso que son cruciales para la satisfacción del cliente e identifique las brechas entre estas características y las capacidades del proceso. Estas brechas (trátese de un desequilibrio en la posición del proceso dentro de la matriz de contacto con el cliente [figura 4.3] o la matriz de productos y procesos [figura 4.5]) brindan oportunidades para mejorar. Para darse una idea del estado actual del proceso, documéntelo usando diagramas de flujo y gráficos de proceso. (Véase el capítulo 5, "Análisis de procesos").
- *Medir.* Cuantifique el trabajo realizado en el proceso que afecta la brecha. Seleccione qué medir, identifique las fuentes de datos y prepare un plan recopilación de datos.
- *Analizar.* Use los datos de las mediciones para realizar un análisis del proceso, que puede centrarse en el mejoramiento incremental o el rediseño radical del proceso. Use herramientas de análisis de datos, como los gráficos de Pareto, diagramas de dispersión y diagramas de causa y efecto y las herramientas de control estadístico de procesos estudiadas en este capítulo para determinar dónde se necesitan las mejoras. Independientemente de que se requiera un rediseño radical, establezca procedimientos para lograr que el resultado deseado se convierta en rutina.
- *Mejorar.* Modifique o rediseñe los métodos existentes para alcanzar los nuevos objetivos de desempeño. Implemente los cambios.
- *Controlar.* Monitoree el proceso para asegurar que se mantengan los altos niveles de desempeño. Una vez más, las herramientas de análisis de datos, como los gráficos de Pareto, gráficos de barras y diagramas de dispersión, así como las herramientas de control estadístico de procesos pueden usarse para controlar el proceso.

Los usuarios exitosos de Six Sigma han descubierto que es esencial seguir rigurosamente los pasos del Modelo de Mejoramiento Six Sigma, en ocasiones llamado *proceso DMAIC* (acrónimo del inglés *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*).

IMPLEMENTACIÓN

Lo primero en la implementación de un programa Six Sigma exitoso es entender que Six Sigma no es un producto que se pueda comprar, sino que requiere tiempo y compromiso. A continuación se presentan algunas lecciones que Motorola, General Electric y otros líderes en Six Sigma aprendieron en relación con la implementación del programa.

- *Compromiso de arriba abajo.* Los líderes corporativos deben demostrar su compromiso con el programa y asumir una función visible en auditar los procesos y buscar la manera de mejorar la empresa. Deben poner el ejemplo a todos en la organización.
- *Sistemas de medición para dar seguimiento a los avances.* La gerencia debe comprometerse a proporcionar los medios para dar seguimiento a los resultados y, junto con los empleados, usar esos medios para medir el desempeño de los procesos.
- *Establecimiento de metas exigentes.* Establecer las normas más altas para la organización mediante estudios de benchmarking de las compañías "mejores en su clase" para evaluar las dimensiones críticas de la satisfacción de los clientes.
- *Educación.* Los empleados deben capacitarse en los "porqués" y los "cómos" de la calidad y lo que ésta significa para los clientes, tanto internos como externos. Este aprendizaje se logra con programas para "capacitar al instructor". Las empresas exitosas que aplican el programa Six Sigma forman un grupo de maestros internos que luego se responsabilizan de enseñar y brindar asistencia a los equipos que participan en un proyecto de mejoramiento de procesos. Estos maestros tienen diferentes títulos, dependiendo de su experiencia y nivel de logro. Los **cintas verdes** dedican parte de su tiempo a enseñar y ayudar a los equipos con sus proyectos y el resto del tiempo se ocupan de sus labores normales. Los **cintas negras** son maestros de tiempo completo y líderes de los equipos que participan en proyectos Six Sigma. Por último, los **maestros cinta negra** son maestros de tiempo completo que revisan y asesoran a los cintas negras. Los criterios de selección de los maestros cinta negra son habilidades cuantitativas y la capacidad para enseñar y asesorar. De acuerdo con la Academia Six Sigma, un típico cinta negra puede encabezar entre cinco y seis proyectos al año y producir, en promedio, ahorros del orden de los $175,000 por proyecto.

Cinta verde

Empleado que ha alcanzado el primer nivel de capacitación en un programa Six Sigma y pasa parte del tiempo enseñando y ayudando a los equipos con sus proyectos.

Cinta negra

Empleado que ha alcanzado el nivel más alto de capacitación en un programa Six Sigma y pasa todo el tiempo enseñando y guiando a los equipos que participan en proyectos Six Sigma.

Maestro cinta negra

Maestros de tiempo completo y asesores de varios cintas negras.

- *Comunicación*. Es tan importante entender los éxitos como los fracasos. Comunicar los éxitos de la organización es un paso crítico para asegurar que la empresa pueda basarse en ellos para seguir creciendo en el futuro.
- *Prioridades del cliente*. Nunca hay que perder de vista las prioridades del cliente, las que se traducen en prioridades competitivas para los procesos de la empresa. Identifique dónde existen brechas.

Las empresas exitosas que usan Six Sigma siguen estas lecciones; sin embargo, nunca se sienten satisfechas. El mejoramiento continuo o el rediseño de los procesos existentes deben estar presentes en la mente de todos los empleados. El mejoramiento continuo es, sin lugar a dudas, la prioridad en Starwood Hotels & Resorts, donde más de 1000 empleados se han capacitado como cintas verdes Six Sigma. Póngase en el lugar de la gerencia que trata de mejorar la satisfacción de los clientes en la marca Sheraton de Starwood. ¿Cómo abordaría las cuestiones que se describen en el siguiente reto administrativo?

> NORMAS INTERNACIONALES DE DOCUMENTACIÓN DE LA CALIDAD <

Una vez que la empresa ha realizado el esfuerzo para que todos sus procesos sean capaces, tiene que documentar su nivel de calidad para comercializar mejor sus servicios o productos. Esta documentación de la calidad reviste especial importancia en el comercio internacional. Sin embargo, si cada país estableciera su propio conjunto de normas, las compañías que venden en los mercados internacionales tendrían grandes dificultades para cumplir con las normas de documentación de la calidad de todos los países en los que operan. Para superar este problema, la Organización Internacional de Normalización ideó un conjunto de normas, conocidas como ISO 9000, para las compañías que tienen negocios en la Unión Europea. Posteriormente, se adoptó un nuevo conjunto de normas, las ISO 14000, para sistemas de administración ambiental.

LAS NORMAS DE DOCUMENTACIÓN ISO 9000

ISO 9000

Conjunto de normas que rigen la documentación de un programa de calidad.

ISO 9000 es un conjunto de normas que rigen la documentación de un programa de calidad. Las compañías obtienen la certificación correspondiente cuando demuestran, frente a un examinador externo calificado, que han satisfecho todos los requisitos. Una vez certificadas, las compañías son incluidas en un directorio para que los posibles clientes sepan qué empresas han sido certificadas y en qué niveles. La conformidad con las normas ISO 9000 no indica *nada* acerca de la verdadera calidad de un producto. Más bien, informa a los clientes que esas compañías pueden presentar documentación que respalde sus respectivas afirmaciones acerca de calidad.

Las normas ISO 9000 consisten en realidad en cinco documentos: ISO 9000 a 9004. La ISO 9000 es un documento de carácter general que ofrece lineamientos para la selección y aplicación de las otras normas. La ISO 9001 es una norma que se centra en 20 aspectos de un programa de calidad para las compañías que diseñan, fabrican, instalan y dan servicio a productos. Algunos de estos aspectos son la responsabilidad de la gerencia, documentación sobre el sistema de calidad, compras, diseño de productos, inspección, capacitación y medidas correctivas. Ésta es la norma más completa y la más difícil de satisfacer. La ISO 9002 abarca los mismos aspectos que la ISO 9001, pero para compañías que fabrican productos de acuerdo con los diseños de cada cliente o que realizan sus actividades de diseño y servicio en una ubicación física diferente. La ISO 9003 es la norma más limitada en su alcance y abarca únicamente el proceso de producción. La ISO 9004 contiene lineamientos para la interpretación de las demás normas.

ISO 14000: UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

ISO 14000

Normas de documentación que requieren que las compañías participantes lleven el control de las materias primas que usan y de la generación, tratamiento y eliminación de sus desechos peligrosos.

Las normas de documentación **ISO 14000** requieren que las compañías participantes lleven el control de las materias primas que usan y de la generación, tratamiento y eliminación de sus desechos peligrosos. Aunque las normas no especifican las emisiones permisibles para cada compañía, exigen que éstas preparen un plan para el mejoramiento continuo de su desempeño ambiental. Las ISO 14000 son un conjunto de cinco normas que abarcan diferentes rubros, entre los cuales figuran los siguientes:

- *Sistema de administración ambiental*. Se requiere un plan para mejorar el desempeño en términos de utilización de recursos y producción de contaminantes.
- *Evaluación del desempeño ambiental*. Lineamientos específicos para la certificación de compañías.

RETO ADMINISTRATIVO

DESEMPEÑO Y CALIDAD DE LOS PROCESOS EN STARWOOD



Las mediciones de la calidad no son desconocidas en Starwood Hotels & Resorts. En el último año, los hoteles de Starwood de todo el mundo ocuparon 51 de los aproximadamente 700 lugares de la Gold List, publicada por Conde Nast, de los mejores lugares del mundo para hospedarse. Sus programas de spa y golf se han clasificado sistemáticamente entre los mejores del mundo.

En Starwood, los procesos y programas están impulsados por el trabajo de su equipo de expertos en Six Sigma, llamados "cintas negras". El programa Six Sigma, creado por Motorola hace más de veinte años, es un sistema integral y flexible para alcanzar, sostener y maximizar el éxito empresarial mediante la eliminación de los defectos y la variabilidad en los procesos. Starwood sigue el proceso DMAIC de cinco pasos: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

Como es evidente, entender las necesidades del cliente es de suma importancia. Con este fin, Starwood recopila datos de los clientes mediante su encuesta de índice de satisfacción de los huéspedes, llamada la "Voz del cliente". La encuesta abarca todos los departamentos con los que el huésped puede haber tenido contacto durante su estancia, desde la recepción y la habitación del hotel, hasta los restaurantes y conserjería. Encuestas realizadas en el pasado indicaron que la eficacia con que se resolvían los problemas durante la estancia del huésped era uno de los factores que más incidían en las calificaciones altas de satisfacción del huésped. Para aumentar su calificación en resolución de problemas, la marca Sheraton de Starwood lanzó el programa Promesa de servicio Sheraton (Sheraton Service Promise) en Estados Unidos y Canadá. El programa estaba diseñado para ofrecer a los huéspedes un solo punto de contacto para dar parte de los problemas. Tenía el propósito de centrar la atención de los asociados (empleados) en ocuparse de los problemas de servicio que se presentaban durante la estancia del huésped dentro de un plazo de 15 minutos después de recibir el aviso correspondiente.

Sin embargo, aunque las calificaciones aumentaron, el incremento no fue suficiente. En consecuencia, Sheraton encargó a su equipo Six Sigma que estudiara qué se podía hacer. El equipo empleó el modelo básico Six Sigma consistente en definir, medir, analizar, mejorar y controlar, para orientar su trabajo. Para definir el problema, el equipo Six Sigma trabajó con datos recopilados y analizados por una organización independiente de encuestas, National Family Opinion. El estudio indicó que se necesitan tres factores fundamentales en la resolución de problemas: velocidad, empatía y eficiencia. Los tres deben conjuntarse para que los huéspedes se sientan satisfechos y se cumpla la promesa de servicio Sheraton. A continuación, el equipo estudió procesos específicos que afectaban el desempeño: el manejo de solicitudes por parte de los operadores de teléfono, los procedimientos para determinar a quién llamar, cargas de trabajo de ingeniería, y así sucesivamente. El trabajo identificado en cada área se midió. Por ejemplo, se establecieron registros de llamadas para dar seguimiento a la velocidad, la empatía del empleado que manejaba la llamada y la eficiencia del personal encargado de arreglar el problema. Los datos recabados se analizaron para determinar por qué los problemas de los huéspedes no se resolvían dentro de la norma de 15 minutos. En el análisis se utilizaron gráficos de Pareto y otras técnicas.

El paso final consistió en implantar medidas de control y monitoreo para garantizar que los procesos mejorados, desarrollados por el equipo Six Sigma, pasaran a formar parte de la cultura del hotel y no se abandonaran después de que el equipo finalizara su trabajo. El seguimiento dura entre 12 y 18 meses, y se envía información mensual al gerente o jefe de departamento responsable por el mejoramiento del programa Promesa de servicio Sheraton. La campaña de mejoramiento también recibe visibilidad a través de la intranet de la compañía para que el resto de la organización se dé cuenta de los beneficios, incluidos los niveles de servicio y desempeño financiero, y pueda aprovechar la experiencia para mejorar sus propias operaciones.



Personal de un hotel Sheraton estudia las calificaciones de satisfacción de los huéspedes como parte de la "Promesa de servicio Sheraton" que ha implementado la cadena. El programa ofrece a los clientes un solo punto de contacto en caso de que experimenten algún problema durante su estancia.

Retos administrativos para mejorar la satisfacción de los clientes en Starwood

1. La implementación de programas Six Sigma requiere mucho tiempo y compromiso por parte de la organización. En función del compromiso de arriba abajo, lo sistemas de medición para dar seguimiento a los avances, el establecimiento de metas exigentes, educación, comunicación y prioridades del cliente, evalúe el grado hasta el cual Starwood atendió con éxito cada uno de estos aspectos con el rediseño del programa Promesa de servicio Sheraton.
2. ¿Cómo podría el nuevo proceso Promesa de servicio Sheraton contribuir a que Starwood evite los cuatro costos del desempeño deficiente y la mala calidad de los procesos (costos de prevención, valoración, internos de una falla y externos de una falla)?
3. Starwood es la primera marca importante de hoteles en comprometerse con un programa Six Sigma dedicado a mejorar la calidad. ¿Por qué una organización podría mostrarse renuente a seguir este tipo de metodología formalizada? ¿Qué otros métodos podría usar Starwood o sus competidores?

- *Nomenclatura ambiental*. Se definen diversos términos, como: *reciclable, uso eficiente de la energía* y *seguro para la capa de ozono*.
- *Evaluación del ciclo de vida*. Se evalúa el impacto ambiental vitalicio de la manufactura, uso y eliminación de un producto.

Para conservar la certificación, las compañías tienen que someterse periódicamente a inspecciones realizadas por auditores privados externos.

VENTAJAS DE LA CERTIFICACIÓN ISO

El proceso completo de certificación puede tardar hasta 18 meses y requiere muchas horas de trabajo de la gerencia y los empleados. El costo de la certificación puede ser superior a un millón de dólares en compañías grandes. A pesar de los gastos y el compromiso que implica la certificación ISO, los beneficios externos e internos que proporciona son significativos. Los beneficios externos provienen de la posible ventaja en ventas que tienen las compañías que cumplen con esta norma. En igualdad de circunstancias, las compañías que buscan un nuevo proveedor elegirán más probablemente una empresa que haya demostrado su conformidad con las normas de documentación de calidad ISO. En consecuencia, cada vez más empresas tratan de conseguir la certificación para adquirir una ventaja competitiva. Cientos de miles de plantas manufactureras de todo el mundo cuentan ya con la certificación ISO 9000.

Los beneficios internos son considerables. Las empresas registradas han experimentado un incremento promedio de 48% en rentabilidad y una mejoría de 76% en marketing. El British Standards Institute, una destacada institución de auditores independientes, estima que la mayoría de las compañías que obtienen el registro ISO 9000 logran reducir en 10% el costo de fabricación de un producto, gracias a las mejoras de calidad que implementan mientras se esfuerzan por satisfacer los requisitos de documentación. La certificación ISO 9000 requiere que la compañía analice y documente sus procedimientos, lo cual es necesario en todos los casos para poner en marcha programas de mejoramiento continuo, de participación de los empleados y otros similares. Los lineamientos y requisitos de las normas de documentación ISO proporcionan a las compañías un buen impulso inicial para trabajar en los programas de TQM.

> PREMIO NACIONAL MALCOLM BALDRIGE A LA CALIDAD <

Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad

Premio que lleva el nombre del finado secretario de comercio de Estados Unidos, que fue defensor acérrimo del mejoramiento de la calidad como medio para reducir el déficit comercial; el premio promueve, brinda reconocimiento y divulga las estrategias y logros que surgen en el terreno de la calidad.

Independientemente del lugar donde opere la compañía, es evidente que todas las organizaciones tienen que producir productos y servicios de alta calidad si desean ser competitivas. Para poner de relieve ese hecho, en agosto de 1987 el Congreso de Estados Unidos promulgó la Ley Nacional Malcolm Baldrige para el Mejoramiento de la Calidad, por la cual se instituyó el **Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad** (www.quality.nist.gov). El premio lleva el nombre del finado secretario de comercio de Estados Unidos, que fue defensor acérrimo del mejoramiento de la calidad como medio para reducir el déficit comercial, y promueve, brinda reconocimiento y divulga las estrategias y logros que surgen en el terreno de la calidad.

El proceso de solicitud y revisión para obtener el Premio Baldrige es riguroso. Sin embargo, el acto mismo de preparar la solicitud con frecuencia redunda en un importante beneficio para las organizaciones, porque ayuda a las compañías a definir lo que significa para ellas la *calidad*. De acuerdo con el National Institute of Standards and Technology (NIST) del Departamento de Comercio de Estados Unidos, invertir en los principios de la calidad y excelencia en el desempeño produce mejor productividad, empleados y clientes satisfechos y mayor rentabilidad, tanto para clientes como para inversionistas. Los siete criterios principales para el otorgamiento de este premio son los siguientes:[4]

1. *Liderazgo*. Se examina cómo los altos ejecutivos guían a la organización y cómo ésta asume sus responsabilidades con el público y cumple sus deberes como miembro de la comunidad.
2. *Planificación estratégica*. Se examina cómo la organización establece rumbos estratégicos y cómo determina los planes de acción más importantes.
3. *Enfoque centrado en el cliente y en el mercado*. Se examina cómo la organización determina los requisitos y expectativas de los clientes y mercados; entabla relaciones con los clientes; y adquiere, satisface y conserva a los clientes.
4. *Administración de mediciones, análisis y conocimientos*. Se examina la administración, uso eficaz, análisis y mejoramiento de los datos e información para apoyar los principales procesos organizacionales y el sistema de administración del desempeño de la organización.
5. *Enfoque centrado en los recursos humanos*. Se examina cómo la organización apoya a su fuerza de trabajo para que ésta alcance su máximo potencial y cómo los empleados se alinean con los objetivos de la organización.
6. *Administración de procesos*. Se examinan los aspectos de cómo se diseñan, administran y mejoran los procesos fundamentales de producción, entrega y apoyo.
7. *Resultados de negocios*. Se examina el desempeño y mejoramiento de la organización con respecto a sus principales metas empresariales, que incluyen: satisfacción del cliente, desempeño financiero y de mercado, recursos humanos, desempeño con proveedores y socios, desempeño operativo, gobierno y responsabilidad social. En esta categoría se examina también cómo se desempeña la organización en relación con sus competidores.

La satisfacción del cliente es el pilar fundamental de estos siete criterios. El criterio 7, resultados de negocios, es al que se concede mayor peso durante la selección de los ganadores.

[4]Encontrará los detalles del Programa Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en www.quality.nist.gov.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

ECUACIONES CLAVE

1. Media: $\bar{x} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$

2. Desviación estándar de una muestra:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{o} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

3. Límites de control para gráficos de control de procesos variables

   a. Gráfico *R*, rango de la muestra:

$$\text{Límite de control superior} = \text{UCL}_R = D_4\bar{R}$$
$$\text{Límite de control inferior} = \text{LCL}_R = D_3\bar{R}$$

   b. Gráfico $\bar{x}$, media de la muestra:

$$\text{Límite de control superior} = \text{UCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$
$$\text{Límite de control inferior} = \text{LCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

   c. Cuando se conoce la desviación estándar de la distribución del proceso, σ:

$$\text{Límite de control superior} = \text{UCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}}$$
$$\text{Límite de control inferior} = \text{LCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}}$$

donde

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

4. Límites de control para gráficos de control de atributos del proceso

   a. Gráfico *p*, proporción de defectos:

$$\text{Límite de control superior} = \text{UCL}_p = \bar{p} + z\sigma_p$$
$$\text{Límite de control inferior} = \text{LCL}_p = \bar{p} - z\sigma_p$$

donde

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

   b. Gráfico *c*, número de defectos:

$$\text{Límite de control superior} = \text{UCL}_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}}$$
$$\text{Límite de control inferior} = \text{LCL}_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}}$$

5. Razón de capacidad de proceso

$$C_p = \frac{\text{Especificación superior} - \text{Especificación inferior}}{6\sigma}$$

6. Índice de capacidad de proceso:

$$C_{pk} = \text{Mínimo de}$$
$$\left[\frac{\bar{\bar{x}} - \text{Especificación inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{Especificación superior} - \bar{\bar{x}}}{3\sigma}\right]$$

TÉRMINOS CLAVE

administración de la calidad total (TQM) 208
atributos 214
calidad 208
calidad en el origen 210
capacidad de proceso 227
causas asignables de variación 217
causas comunes de variación 217
ciclo de planear-hacer-comprobar-actuar 212
Cinta negra 233
Cinta verde 233
círculos de calidad 211
control estadístico de procesos (SPC) 213
costos de prevención 207
costos de valoración 207
costos externos de una falla 207
costos internos de una falla 207
defecto 206
empowerment 211
equipo autoadministrado 211
equipos 210
equipos con propósitos especiales 211
error tipo I 219
error tipo II 219
función de pérdida de calidad 230
garantía 207
gráfico *c* 226
gráfico de control 218
gráfico *p* 224
gráfico *R* 220
gráfico $\bar{x}$ 220
índice de capacidad de proceso C_{pk} 229
ingeniería de la calidad 230
ISO 14000 234
ISO 9000 234
Maestro cinta negra 233
mejoramiento continuo 211
muestreo de aceptación 213
plan de muestreo 215
Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad 236
razón de capacidad de proceso C_p 228
Six Sigma 230
tamaño de la muestra 215
tolerancia 227
valor nominal 227
variables 213

PROBLEMA RESUELTO 1

La Watson Electric Company produce bombillas de luz incandescente. Los siguientes datos sobre el número de lúmenes correspondientes a bombillas de 40 watt se obtuvieron cuando el proceso estaba bajo control.

	Observación			
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
1	604	612	588	600
2	597	601	607	603
3	581	570	585	592
4	620	605	595	588
5	590	614	608	604

a. Calcule los límites de control para un gráfico R y un gráfico $\bar{x}$.

b. Desde que se recopilaron estos datos, se han contratado nuevos empleados. Mediante una nueva muestra se obtuvieron las siguientes lecturas: 570, 603, 623 y 583. ¿El proceso sigue estando bajo control?

SOLUCIÓN

a. Para calcular $\bar{x}$, calcule la media de cada muestra. Para calcular R, reste el valor más bajo de la muestra, del valor más alto de la misma muestra. Por ejemplo, en el caso de la muestra 1:

$$\bar{x} = \frac{604+612+588+600}{4} = 601$$

$$R = 612 - 588 = 24$$

Muestra	$\bar{x}$	R
1	601	24
2	602	10
3	582	22
4	602	32
5	604	24
Total	2,991	112
Promedio	$\bar{\bar{x}} = 598.2$	$\bar{R} = 22.4$

Los límites de control del gráfico R son

$$\text{UCL}_R = D_4\bar{R} = 2.282(22.4) = 51.12$$
$$\text{LCL}_R = D_3\bar{R} = 0(22.4) = 0$$

Los límites de control del gráfico $\bar{x}$ son

$$\text{UCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 598.2 + 0.729(22.4) = 614.53$$
$$\text{LCL}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 598.2 - 0.729(22.4) = 581.87$$

b. Revise primero si la variabilidad continúa bajo control, tomando como base los nuevos datos. El rango es 53 (o sea, 623 – 570), por lo cual se encuentra fuera del límite de control superior (UCL) correspondiente al gráfico R. A pesar de que la media de la muestra, 594.75, está dentro de los límites de control para el promedio del proceso, la variabilidad del proceso no está bajo control. Por eso, será preciso realizar una búsqueda de las causas asignables.

PROBLEMA RESUELTO 2

El departamento de procesamiento de datos del Arizona Bank tiene cinco empleados que se dedican a introducir datos. Su supervisor verifica todos los días la precisión de una muestra aleatoria de 250 registros. Cuando un registro contiene uno o más errores, se considera defectuoso y es preciso hacerlo de nuevo. Los resultados de las 30 últimas muestras se presentan en la tabla. Todos fueron verificados para asegurar que ninguno estuviera fuera de control.

Muestra	Número de registros defectuosos	Muestra	Número de registros defectuosos	Muestra	Número de registros defectuosos	Muestra	Número de registros defectuosos
1	7	9	6	17	12	24	7
2	5	10	13	18	4	25	13
3	19	11	18	19	6	26	10
4	10	12	5	20	11	27	14
5	11	13	16	21	17	28	6
6	8	14	4	22	12	29	11
7	12	15	11	23	6	30	9
8	9	16	8				
						Total	300

a. Tomando como base estos datos históricos, trace un gráfico p usando $z = 3$.

b. Las muestras de los cuatro días subsecuentes mostraron lo siguiente:

Muestra	Número de registros defectuosos
31	17
32	15
33	22
34	21

¿Cuál será probablemente la evaluación del supervisor acerca del proceso de introducción de datos?

SOLUCIÓN

a. Como se aprecia en la tabla, el supervisor sabe que el número total de registros defectuosos es de 300, dentro de una muestra total de 7500 [o sea, 30(250)]. Por lo tanto, la línea central del gráfico es:

$$\bar{p} = \frac{300}{7{,}500} = 0.04$$

Los límites de control son

$$UCL_p = \bar{p} + z\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.04 + 3\sqrt{\frac{0.04(0.96)}{250}} = 0.077$$
$$LCL_p = \bar{p} - z\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.04 - 3\sqrt{\frac{0.04(0.96)}{250}} = 0.003$$

b. Las muestras de los cuatro días subsecuentes mostraron lo siguiente:

Muestra	Número de registros defectuosos	Proporción
31	17	0.068
32	15	0.060
33	22	0.088
34	21	0.084

Las muestras 33 y 34 se encuentran fuera de control. El supervisor tendrá que buscar el problema y, una vez que lo identifique, aplicar las medidas correctivas que correspondan.

> PROBLEMA RESUELTO 3 <

El Departamento de Seguridad en las Carreteras del Condado Minnow monitorea los accidentes en la intersección de las carreteras 123 y 14. Los accidentes se producen en dicha intersección a un ritmo promedio de tres por mes.

a. ¿Qué tipo de gráfico de control deberá utilizarse? Construya un gráfico de control con límites de control tres sigma.

b. El mes pasado hubo siete accidentes en la intersección. ¿Basta esta información para justificar la afirmación de que algo ha cambiado en dicha intersección?

SOLUCIÓN

a. El departamento de seguridad no puede determinar el número de accidentes que *no ocurrieron*, por lo cual no puede calcular una proporción de casos defectuosos en la intersección. Por lo tanto, los administradores tienen que usar un gráfico c para el cual

$$UCL_c = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} = 3 + 3\sqrt{3} = 8.20$$
$$LCL_c = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} = 3 - 3\sqrt{3} = -2.196$$

Como no es posible que haya un número negativo de accidentes, en este caso el límite de control inferior se ajusta a cero.

b. El número de accidentes que hubo el mes pasado se ubicó dentro de los límites de control superior e inferior del gráfico. A partir de este hecho, se concluye que no hay ninguna causa asignable presente y que el aumento del número de accidentes se debió solamente al azar.

> PROBLEMA RESUELTO 4 <

Pioneer Chicken anuncia pollos "lite" con 30% menos calorías. (Las piezas son 33% más pequeñas). La distribución promedio del proceso para las pechugas de pollo "lite" es de 420 calorías, con una desviación estándar de la población de 25 calorías. Pioneer ha tomado muestras al azar de seis pechugas de pollo, para medir su contenido calórico.

a. Diseñe un gráfico $\bar{x}$, usando la desviación estándar del proceso.

b. El diseño del producto requiere que la pechuga de pollo promedio tenga un contenido de 400 ± 100 calorías. Calcule el índice de capacidad del proceso (objetivo = 1.33) y la razón de capacidad del proceso. Interprete los resultados.

SOLUCIÓN

a. Para la desviación estándar del proceso de 25 calorías, la desviación estándar de la media de la muestra es:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{25}{\sqrt{6}} = 10.2 \text{ calorías}$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} = 420 + 3(10.2) = 450.6 \text{ calorías}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}} = 420 - 3(10.2) = 389.4 \text{ calorías}$$

b. El índice de capacidad del proceso es:

$$C_{pk} = \text{Mínimo de}\left[\frac{\bar{\bar{x}} - \text{Especificación inferior}}{3\sigma}, \frac{\text{Especificación superior} - \bar{\bar{x}}}{3\sigma}\right]$$

$$= \text{Mínimo de}\left[\frac{420-300}{3(25)} = 1.60, \frac{500-420}{3(25)} = 1.07\right] = 1.07$$

La razón de capacidad del proceso es:

$$C_p = \frac{\text{Especificación superior} - \text{Especificación inferior}}{6\sigma} = \frac{500 \text{ calorías} - 300 \text{ calorías}}{6(25)} = 1.33$$

En virtud de que la razón de capacidad del proceso es 1.33, el proceso debe producir el producto de manera confiable dentro de las especificaciones. Sin embargo, el índice de capacidad del proceso es de 1.07, por lo que el proceso actual no está centrado correctamente para el desempeño cuatro sigma. La media de la distribución del proceso está demasiado cerca de la especificación superior.

> PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN <

1. Las compañías que aplican la TQM han alcanzado un grado considerable de éxito. ¿Cuáles son los principales obstáculos a los que se enfrentan los fabricantes y proveedores de servicios que desean lograr el mejoramiento continuo de la calidad?
2. Recientemente, Polish General Corporation, empresa que goza de prestigio en la fabricación de aparatos eléctricos y partes para automóvil, emprendió un proyecto de 13,000 millones de dólares para producir automóviles. Se requirió mucho aprendizaje por parte de la gerencia y los empleados. A pesar de la creciente presión para lanzar un nuevo producto al mercado a principios de 2007, el gerente de producción de la recién formada división de automóviles insistió en que las pruebas se prolongaran casi un año antes de empezar las ventas porque los trabajadores tenían que hacer el trabajo entre 60 y 100 veces para memorizar la secuencia correcta. La fecha de lanzamiento se fijó para principios de 2008. ¿Cuáles son las consecuencias de la aplicación de este enfoque para incursionar en el mercado con un nuevo producto?
3. Forme un grupo y elija un fabricante o proveedor de servicio y un área funcional, por ejemplo, contabilidad, finanzas o marketing. Defina un proceso importante para esa área funcional y después identifique una medición clave del desempeño de ese proceso. ¿Cómo podría usarse el SPC para administrar ese proceso?

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software en inglés, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. En Quickie Car Wash, se anuncia que el proceso de lavado tarda menos de 7 minutos. En consecuencia, la gerencia ha establecido como objetivo un promedio de 390 segundos para el proceso de lavado. Suponga que el rango promedio de una muestra de nueve autos es de 10 segundos. Use la tabla 6.1 para establecer límites de control para las medias y rangos de la muestra del proceso de lavado de autos.
2. En Isogen Pharmaceuticals, el proceso de rellenado del inhalador para asmáticos se ha ajustado de modo que deposite 150 mililitros (ml) de solución de esteroides por envase. El rango promedio para una muestra de 4 envases es de 3 ml. Use la tabla 6.1 para establecer los límites de control para las medias y rangos de la muestra del proceso de rellenado.
3. El Garaje de García desea crear cuadros y gráficos de colores para ilustrar la fiabilidad de que sus mecánicos “abran el capó y resuelvan el problema”. El promedio histórico de la proporción de clientes que regresan para exigir la misma

reparación dentro del periodo de garantía de 30 días es de 0.10. Cada mes, García estudia a 100 clientes para ver si regresan a solicitar reparaciones cubiertas por la garantía. Los resultados se representan en un gráfico como una proporción, para registrar los avances hacia la meta. Si los límites de control se establecen en dos desviaciones estándar a cada extremo de la meta, determine los límites de control para este gráfico. En marzo, ocho de los cien clientes del grupo de muestra regresó para hacer valer la garantía. ¿El proceso de reparaciones está bajo control?

4. Canine Gourmet Company produce deliciosos bocadillos para perros de gusto exigente. La gerencia desea que la línea de rellenado de cajas se ajuste de modo que el proceso produzca paquetes con un peso promedio de 45 gramos. Para asegurarse de que dicho proceso esté bajo control, un inspector colocado al final de la línea de rellenado selecciona periódicamente, al azar, una caja con diez paquetes y pesa cada paquete. Cuando el proceso está bajo control, el rango de pesos observado en cada muestra ha promediado 6 gramos.

a. Trace un gráfico R y un gráfico $\bar{x}$ para este proceso.
b. Los resultados de las últimas cinco muestras de diez paquetes son:

Muestra	$\bar{x}$	R
1	44	9
2	40	2
3	46	5
4	39	8
5	48	3

¿El proceso está bajo control? Explique.

5. Marlin Company produce botellas de plástico de acuerdo con las especificaciones del cliente. El inspector de calidad selecciona al azar cuatro botellas, que extrae de la máquina, y mide el diámetro exterior del cuello del envase, una dimensión de calidad crítica de la cual depende que la tapa de la botella ajuste correctamente. Las dimensiones de las seis últimas muestras (en pulgadas) son:

	Botella			
Muestra	1	2	3	4
1	0.604	0.612	0.588	0.600
2	0.597	0.601	0.607	0.603
3	0.581	0.570	0.585	0.592
4	0.620	0.605	0.595	0.588
5	0.590	0.614	0.608	0.604
6	0.585	0.583	0.617	0.579

a. Suponga que sólo estas seis muestras son suficientes, y use los datos para determinar los límites de control de un gráfico R y un gráfico $\bar{x}$.
b. Suponga que la especificación del diámetro del cuello de la botella es de 0.600 ± 0.050 pulg. Si la desviación estándar de la población es de 0.012 pulg, y la empresa trata de producir calidad cuatro sigma, ¿el proceso es capaz de producir la botella?

6. Con el propósito de juzgar y monitorear la calidad de la instrucción, la administración de la Mega-Byte Academy ideó un examen para probar los conocimientos de los estudiantes en los conceptos básicos que todos deben haber aprendido. Cada año, se selecciona al azar una muestra de 10 estudiantes a punto de graduarse, para realizar la prueba. El puntaje promedio se usa para observar la calidad del proceso educativo. Los resultados de dicho examen en los últimos 10 años aparecen en la tabla 6.2.

TABLA 6.2 Calificaciones del examen de salida

	Estudiante										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
1	63	57	92	87	70	61	75	58	63	71	69.7
2	90	77	59	88	48	83	63	94	72	70	74.4
3	67	81	93	55	71	71	86	98	60	90	77.2
4	62	67	78	61	89	93	71	59	93	84	75.7
5	85	88	77	69	58	90	97	72	64	60	76.0
6	60	57	79	83	64	94	86	64	92	74	75.3
7	94	85	56	77	89	72	71	61	92	97	79.4
8	97	86	83	88	65	87	76	84	81	71	81.8
9	94	90	76	88	65	93	86	87	94	63	83.6
10	88	91	71	89	97	79	93	87	69	85	84.9

Use estos datos para estimar el centro y la desviación estándar para esta distribución. Calcule después los límites de control dos sigma para el promedio del proceso. ¿Qué comentarios haría usted a la administración de la Mega-Byte Academy?

7. Como administrador de un hospital grande, le preocupa el ausentismo entre los auxiliares de las enfermeras. Las enfermeras tituladas han planteado el problema, porque se quejan de que a menudo tienen que realizar el trabajo que normalmente desempeñan sus auxiliares. Para investigar los hechos, se recopilaron datos sobre el ausentismo en las últimas dos semanas, periodo que se considera representativo de las condiciones futuras. Después de tomar muestras aleatorias de 64 expedientes de personal todos los días, se obtuvieron los siguientes datos:

Día	Auxiliares ausentes	Día	Auxiliares ausentes
1	4	9	7
2	3	10	2
3	2	11	3
4	4	12	2
5	2	13	1
6	5	14	3
7	3	15	4
8	4		

Debido a que es muy probable que su evaluación del ausentismo se examine minuciosamente, a usted le gustaría tener un error tipo I de sólo 1%. Necesita identificar todos los casos de ausencias fuera de lo común. Si hay algunos, tendrá que explorarlos para atender la petición de las enfermeras tituladas.

a. Diseñe un gráfico *p*.
b. Con base en el gráfico *p* y los datos de las últimas dos semanas, ¿qué puede concluir respecto al ausentismo de los auxiliares de las enfermeras?

8. Un fabricante de textiles desea construir un gráfico de control de irregularidades (por ejemplo, manchas de aceite, tierra del taller, hilos sueltos y roturas) por cada 100 yardas cuadradas de alfombra. Los siguientes datos se recopilaron a partir de una muestra de veinte rollos de alfombra de 100 yardas cuadradas cada uno.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Irregularidades	11	8	9	12	4	16	5	8	17	10
Muestra	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Irregularidades	11	5	7	12	13	8	19	11	9	10

a. Utilizando estos datos, prepare un gráfico *c* con $z = 3$.
b. Suponga que las cinco muestras siguientes tuvieran 15, 18, 12, 22 y 21 irregularidades. ¿Qué concluiría?

9. El IRS (Servicio de Rentas Internas de Estados Unidos) está interesado en mejorar la exactitud de la información tributaria que proporcionan sus representantes por teléfono. En estudios anteriores, se hizo una serie de 25 preguntas a un gran número de representantes telefónicos del IRS para determinar la proporción de respuestas correctas que ellos proporcionaban. Históricamente, la proporción promedio de respuestas correctas ha sido de 70%. A últimas fechas, los representantes del IRS han recibido más capacitación. El 1 de abril, el conjunto de 25 preguntas sobre tributación se aplicó una vez más a 20 representantes telefónicos del IRS seleccionados al azar. Las proporciones de respuestas correctas fueron: 0.88, 0.76, 0.64, 1.00, 0.76, 0.76, 0.72, 0.88, 0.50, 0.50, 0.40, 1.00, 0.88, 1.00, 0.64, 0.76, 0.76, 0.88, 0.40 y 0.76. Interprete los resultados obtenidos en ese estudio.

10. Una agencia de viajes está interesada en mejorar la precisión y la apariencia de los itinerarios que prepara para sus clientes. En este caso, los defectos pueden incluir errores en horarios, aerolíneas, números de vuelos, precios, información sobre alquiler de automóviles, hospedaje, números de tarjeta de crédito y números de reservaciones, así como errores tipográficos. Puesto que el número de errores posibles es casi infinito, la agencia mide el número de errores que se han producido. El proceso actual produce un promedio de tres errores por itinerario.

a. ¿Cuáles son los límites de control dos sigma para estos defectos?
b. Una clienta programó un viaje a Dallas. Su itinerario contenía seis errores. Interprete esta información.

11. Jim's Outfitters, Inc., fabrica camisas elegantes para vaqueros, al gusto del cliente. Las camisas pueden presentar varios tipos de defectos, como fallas en el tejido o color de la tela, botones o adornos sueltos, dimensiones equivocadas y costuras irregulares. Jim examinó 10 camisas al azar y obtuvo los siguientes resultados:

Camisa	Defectos
1	8
2	0
3	7
4	12
5	5
6	10
7	2
8	4
9	6
10	6

a. Suponiendo que 10 observaciones resulten adecuadas para estos propósitos, determine los límites de control tres sigma para el número de defectos por camisa.
b. Suponga que la siguiente camisa tiene 13 fallas. ¿Qué puede usted decir ahora acerca del proceso?

12. Big Black Bird Company produce capotas de fibra de vidrio para vehículos cámper. El proceso de producción de las capotas tiene que realizarse bajo control para que el número de

hoyuelos indeseables sea bajo. Cuando el proceso estaba bajo control, se detectaron los siguientes defectos en hojas de fibra de vidrio seleccionadas al azar, durante un periodo prolongado.

Capota	Hoyuelos
1	7
2	9
3	14
4	11
5	3
6	12
7	8
8	4
9	7
10	6

a. Suponiendo que 10 observaciones son suficientes para estos propósitos; determine los límites de control tres sigma para el número de hoyuelos por capota de cámper.

b. Suponga que la siguiente capota para cámper tiene 15 hoyuelos. ¿Qué puede decir ahora acerca del proceso?

13. El gerente de producción de Sunny Soda, Inc. está interesado en estudiar la calidad de la línea de rellenado de botellas de 12 onzas de la compañía. Las botellas deben llenarse de acuerdo con las tolerancias establecidas para este producto, ya que la información dietética contenida en la etiqueta indica que la ración es de 12 onzas. La norma de diseño del producto requiere que las botellas se llenen hasta el nivel de 12.00 ± 0.10 onzas. El gerente ha recopilado los siguientes datos de muestra (en onzas líquidas por botella) acerca del proceso de producción:

	Observación			
Muestra	1	2	3	4
1	12.00	11.97	12.10	12.08
2	11.91	11.94	12.10	11.96
3	11.89	12.02	11.97	11.99
4	12.10	12.09	12.05	11.95
5	12.08	11.92	12.12	12.05
6	11.94	11.98	12.06	12.08
7	12.09	12.00	12.00	12.03
8	12.01	12.04	11.99	11.95
9	12.00	11.96	11.97	12.03
10	11.92	11.94	12.09	12.00
11	11.91	11.99	12.05	12.10
12	12.01	12.00	12.06	11.97
13	11.98	11.99	12.06	12.03
14	12.02	12.00	12.05	11.95
15	12.00	12.05	12.01	11.97

a. ¿Se encuentran bajo control estadístico el promedio y el rango de este proceso?

b. ¿Este proceso es capaz de cumplir con la norma de diseño en el nivel de calidad cuatro sigma? Explique.

14. Money Pit Mortgage Company está interesada en monitorear el desempeño del proceso de otorgamiento de préstamos hipotecarios. Se tomaron quince muestras de cinco transacciones hipotecarias completas cada una durante un periodo en que se creía que el proceso estaba bajo control. Se midieron los tiempos necesarios para realizar las transacciones. Las medias y los rangos de los tiempos que tardan las transacciones en el proceso de otorgamiento de hipotecas, medidos en días, son los siguientes:

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Media	17	14	8	17	12	13	15	16	13	14	16	9	11	9	12
Rango	6	11	4	8	9	14	12	15	10	10	11	6	9	11	13

Posteriormente, se tomaron muestras del proceso, de tamaño 5, cada semana durante las 10 semanas siguientes. Se midieron los tiempos y así se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Media	11	14	9	15	17	19	13	22	20	18
Rango	7	11	6	4	12	14	11	10	8	6

a. Construya los gráficos de control para la media y el rango, utilizando las 15 muestras originales. ¿Ha sido suficiente esta serie de muestras para crear el gráfico de control? Explique su respuesta.

b. En los gráficos de control, trace los valores de las muestras obtenidas posteriormente y comente si este proceso está bajo control.

c. Si usted concluyó en la parte (b) que el proceso estaba fuera de control, ¿cree que eso se haya debido a un desplazamiento de la media, a un incremento de la variabilidad, o a ambas cosas? Explique su respuesta.

15. Money Pit Mortgage Company, mencionada en el problema 14, introdujo algunos cambios en su proceso y emprendió un estudio sobre la capacidad del proceso. Así se obtuvieron los siguientes datos para 15 muestras de tamaño 5. Con base en las observaciones individuales, la gerencia estimó que la desviación estándar del proceso era de 4.21 (días), para usarla en el análisis de la capacidad del proceso. Los límites de especificación superior e inferior (en días) para los tiempos del proceso de otorgamiento de préstamos hipotecarios fueron 5 y 25.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Media	11	12	8	16	13	12	17	16	13	14	17	9	15	14	9
Rango	9	13	4	11	10	9	8	15	14	11	6	6	12	10	11

a. Calcule los valores de la razón de capacidad de proceso y el índice de capacidad de proceso.
b. Suponga que la gerencia se sentiría muy satisfecha con un desempeño tres sigma. ¿Qué conclusiones sacará probablemente la gerencia a partir del análisis de la capacidad? ¿Se pueden extraer conclusiones válidas acerca del proceso a partir de este análisis
c. ¿Qué medidas correctivas, en su caso, sugiere usted que emprenda la gerencia?

16. Webster Chemical Company fabrica masillas y compuestos para calafatear, destinados a la industria de la construcción. El producto se combina en grandes mezcladoras, después de lo cual se envasa a presión en tubos y éstos se cierran con sus respectivas tapas. A la gerencia le interesa saber si el proceso de rellenado de los tubos de compuestos para calafatear se encuentra bajo control estadístico. El proceso debería estar centrado en 8 onzas por tubo. Se tomaron varias muestras de ocho tubos, cada uno de éstos se pesó, y así se obtuvieron las lecturas de peso que muestra la tabla 6.3.
a. Suponga que sólo seis muestras son suficientes y trace los gráficos de control correspondientes a la media y el rango.
b. Trace las observaciones en el gráfico de control y comente sobre sus conclusiones.

17. La gerencia de la empresa Webster, mencionada en el problema 16, se interesa ahora en saber si las tapas de los tubos de sus compuestos para calafatear se están colocando correctamente. Si una proporción significativa de esos tubos no estuviera bien cerrada, los clientes de Webster podrían llegar a verse en una situación difícil. Los tubos se empacan en cajas grandes que contienen 144 unidades. Después de inspeccionar varias cajas, se encontraron las siguientes cantidades de tubos que tenían fugas:

Muestra	Tubos	Muestra	Tubos	Muestra	Tubos
1	3	8	6	15	5
2	5	9	4	16	0
3	3	10	9	17	2
4	4	11	2	18	6
5	2	12	6	19	2
6	4	13	5	20	1
7	2	14	1	Total	72

Calcule límites de control tres sigma para el gráfico *p* a efecto de evaluar si el proceso de colocación de las tapas está bajo control estadístico.

18. En Webster Chemical Company, los grumos que se forman en el compuesto para calafatear pueden provocar dificultades para extraer el material uniformemente del tubo. Incluso cuando el proceso está bajo control, se registra un promedio de 4 grumos por tubo de compuesto para calafatear. Como para probar la presencia grumos es necesario destruir el producto, un analista ha tomado muestras al azar. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Núm. de tubo	Grumos	Núm. de tubo	Grumos	Núm. de tubo	Grumos
1	6	5	6	9	5
2	5	6	4	10	0
3	0	7	1	11	9
4	4	8	6	12	2

Determine los límites de control superior e inferior dos sigma del gráfico *c* para este proceso.

19. Una dimensión crítica de cierto servicio es el tiempo. Periódicamente, se miden muestras aleatorias de tres casos del servicio para verificar el tiempo. Los resultados de las últimas cuatro muestras se presentan en la tabla siguiente.

Muestra	Tiempo (seg)		
1	495	501	498
2	512	508	504
3	505	497	501
4	496	503	492

a. Suponiendo que la gerencia está dispuesta a usar límites tres sigma, y utilizando sólo la información histórica contenida en las cuatro muestras, demuestre que el proceso que produce este servicio se encuentra bajo control estadístico.

TABLA 6.3 Onzas de compuesto para calafatear por tubo

	Número de tubo							
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7.98	8.34	8.02	7.94	8.44	7.68	7.81	8.11
2	8.33	8.22	8.08	8.51	8.41	8.28	8.09	8.16
3	7.89	7.77	7.91	8.04	8.00	7.89	7.93	8.09
4	8.24	8.18	7.83	8.05	7.90	8.16	7.97	8.07
5	7.87	8.13	7.92	7.99	8.10	7.81	8.14	7.88
6	8.13	8.14	8.11	8.13	8.14	8.12	8.13	8.14

b. Suponga que la desviación estándar de la distribución del proceso es 5.77. Si las especificaciones para el tiempo del servicio son 500 ± 18 segundos, ¿el proceso es capaz? ¿Por qué sí o no? Suponga calidad tres sigma.

20. Un torno automático produce rodillos para cojinetes, y el proceso se monitorea por medio de gráficos de control estadístico de procesos. La línea central del gráfico para las medias de la muestra se ha ajustado en 8.50, y para el rango de la media, en 0.31 milímetros (mm). El proceso está bajo control, como se establece por las muestras de tamaño 5. Las especificaciones superior e inferior para el diámetro de los rodillos son (8.50 + 0.25) y (8.50 – 0.25) mm, respectivamente.

a. Calcule los límites de control para los gráficos de la media y el rango.
b. Si se ha estimado que la desviación estándar de la distribución del proceso es de 0.13 mm, ¿el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones? Suponga calidad cuatro sigma.
c. Si el proceso no es capaz, ¿qué porcentaje de la producción quedará fuera de los límites de las especificaciones? (*Sugerencia*: Use la distribución normal).

PROBLEMAS AVANZADOS

21. Las golosinas para perro de Canine Gourmet Super Breath se venden en cajas, cuyas etiquetas indican un peso neto de 12 onzas (340 gramos) por caja. Cada caja contiene ocho paquetes individuales de 1.5 onzas. Para reducir las posibilidades de dar al cliente menos de lo ofrecido, las especificaciones de diseño del producto exigen que el promedio del proceso de rellenado de paquetes se establezca en 43.5 gramos, de modo que el peso neto promedio por caja sea de 348 gramos. Las tolerancias se han establecido para que la caja pese 348 ± 12 gramos. La desviación estándar del *proceso de rellenado de paquetes* es de 1.01 gramos. El objetivo de la razón de capacidad del proceso es 1.33. Un día, el peso promedio del proceso de rellenado de paquetes disminuye a 43.0 gramos. ¿El proceso de empaquetado es capaz? ¿Requiere algún ajuste?

22. Precision Machining Company fabrica herramientas manuales en una línea de ensamblaje que produce un producto por minuto. En uno de los productos, la dimensión crítica de calidad es el diámetro de una perforación (medido en milésimas de pulgada) que se hace en una de las unidades. La gerencia desea detectar cualquier desviación que se produzca en el diámetro promedio del proceso de 0.015 pulg. La gerencia considera que la varianza del proceso está bajo control. Independientemente del promedio del proceso, el rango promedio histórico ha sido de 0.002 pulg. Diseñe un gráfico $\bar{x}$ para controlar este proceso, con una línea central dispuesta en 0.015 pulg y los límites de control localizados a tres sigma de la línea central.

La gerencia ha proporcionado los resultados obtenidos en un lapso de 80 minutos de operaciones de la línea de producción, como lo muestra la tabla 6.4. En esos 80 minutos, el promedio del proceso cambió en una ocasión. Todas las mediciones están expresadas en milésimas de pulgada.

a. Prepare un gráfico $\bar{x}$ $n = 4$. La frecuencia deberá ser: muestrear cuatro elementos y luego omitir otros cuatro. Así, la primera muestra corresponderá a los minutos 1-4, la segunda a los minutos 9-12, y así sucesivamente. ¿Cuándo detendría el proceso para revisar si se ha producido algún cambio en el promedio del proceso?
b. Prepare un gráfico $\bar{x}$ con $n = 8$. La frecuencia deberá ser ahora: muestrear ocho elementos y luego omitir cuatro. ¿Cuándo deberá detener el proceso ahora? ¿Qué puede decir sobre la conveniencia de usar muestras grandes en un intervalo de muestreo frecuente?

23. Utilizando los datos del problema 22, continúe su análisis del tamaño de la muestra y la frecuencia, ensayando con los siguientes planes:

a. A partir del gráfico $\bar{x}$ para $n = 4$, ensaye usando la frecuencia de muestrear cuatro elementos y omitir otros ocho. ¿Cuándo detendría el proceso en este caso?
b. A partir del gráfico $\bar{x}$ para $n = 8$, ensaye usando la frecuencia de muestrear ocho elementos y luego omitir otros ocho. ¿Cuándo consideraría que el proceso está fuera de control?
c. A partir de los resultados obtenidos en las partes (a) y (b), determine qué trueques de ventajas y desventajas consideraría usted al elegir entre ellos.

24. El gerente del departamento de atención a clientes de Omega Credit Card Service Company está preocupado por el número de defectos que produce el proceso de facturación. Todos los días se inspeccionó una muestra alea-

TABLA 6.4 Datos de muestra para Precision Machining Company

Minutos	Diámetro											
1–12	15	16	18	14	16	17	15	14	14	13	16	17
13–24	15	16	17	16	14	14	13	14	15	16	15	17
25–36	14	13	15	17	18	15	16	15	14	15	16	17
37–48	18	16	15	16	16	14	17	18	19	15	16	15
49–60	12	17	16	14	15	17	14	16	15	17	18	14
61–72	15	16	17	18	13	15	14	14	16	15	17	18
73–80	16	16	17	18	16	15	14	17				

TABLA 6.5 Datos de muestra para Omega Credit Card Service

Muestras	Número de errores en una muestra de 250									
1–10	4	9	6	12	8	2	13	10	1	9
11–20	4	6	8	10	12	4	3	10	14	5
21–30	13	11	7	3	2	8	11	6	9	5

toria de 250 estados de cuenta para detectar errores relacionados con entradas incorrectas de números de cuenta, transacciones en la cuenta del cliente, cargos por intereses y cargos por penalización. Se considera que todos los estados de cuenta que tienen uno o más de estos errores son defectos. El estudio duró 30 días y produjo los datos que se presentan en la tabla 6.5. Con base en estos datos, ¿qué puede comentarle al gerente acerca del desempeño del proceso de facturación? ¿Observa algún comportamiento no aleatorio en el proceso de facturación? De ser así, ¿cuál podría ser la causa de ese comportamiento?

25. Red Baron Airlines atiende a centenares de ciudades todos los días, pero la competencia está aumentando debido a que muchas compañías pequeñas se han afiliado con líneas aéreas importantes. Una de las prioridades competitivas clave es la puntualidad en las llegadas y salidas de los vuelos. Red Baron considera *puntual* cualquier llegada o salida que se produce con menos de 15 minutos de diferencia de la hora programada. Para mantenerse en primer lugar en el mercado, la gerencia ha establecido la elevada norma de 98% de puntualidad en el desempeño. El departamento de operaciones quedó a cargo de monitorear el desempeño de la aerolínea. Una muestra aleatoria de 300 llegadas y salidas de vuelos se observó cada semana para verificar el desempeño con respecto a los horarios establecidos. La tabla 6.6 muestra las cifras de llegadas y salidas que no satisficieron la definición de servicio puntual de Red Baron en las 30 últimas semanas. ¿Qué podría decirle a la gerencia sobre la calidad del servicio? ¿Puede identificar algún comportamiento no aleatorio en este proceso? De ser así, ¿cuál podría ser la causa de este comportamiento?

26. Beaver Brothers, Inc. está realizando un estudio para evaluar la capacidad de su línea de producción de barras de jabón de 150 gramos. Una medida crítica de calidad es el peso de las barras de jabón después del moldeo. Los límites de las especificaciones superior e inferior son 162 y 170 gramos, respectivamente. Como parte de un estudio inicial de la capacidad, el grupo a cargo de garantizar la calidad recolectó 25 muestras de tamaño 5 y registró las observaciones que aparecen en la tabla 6.7.

Después de analizar los datos por medio de gráficos de control estadístico, el grupo de control de calidad calculó la razón de capacidad de proceso, C_p, y el índice de capacidad de proceso, C_{pk}. En seguida, decidió mejorar el proceso de moldeado, en especial el mecanismo alimentador. Después de realizar todos los cambios que se juzgaron necesarios, se recolectaron 18 muestras adicionales. En resumen, los datos obtenidos de estas muestras fueron:

$$\bar{\bar{x}} = 163 \text{ gramos}$$
$$\bar{R} = 2.326 \text{ gramos}$$
$$\sigma = 1 \text{ gramo}$$

Todas las observaciones estuvieron dentro de los límites del gráfico de control. Con los nuevos datos, el grupo de control de calidad volvió a calcular las medidas de capacidad del proceso. Se sintió complacido con la mejoría de C_p, pero

TABLA 6.6 Datos de muestra para Red Baron Airlines

Muestras	Número de vuelos retrasados en una muestra de 300 llegadas y salidas									
1–10	3	8	5	11	7	2	12	9	1	8
11–20	3	5	7	9	12	5	4	9	13	4
21–30	12	10	6	2	1	8	4	5	8	2

TABLA 6.7 Datos de muestra para Beaver Brothers, Inc.

Muestra	OBS. 1	OBS. 2	OBS. 3	OBS. 4	OBS. 5
1	167.0	159.6	161.6	164.0	165.3
2	156.2	159.5	161.7	164.0	165.3
3	167.0	162.9	162.9	164.0	165.4
4	167.0	159.6	163.7	164.1	165.4
5	156.3	160.0	162.9	164.1	165.5
6	164.0	164.2	163.0	164.2	163.9
7	161.3	163.0	164.2	157.0	160.6
8	163.1	164.2	156.9	160.1	163.1
9	164.3	157.0	161.2	163.2	164.4
10	156.9	161.0	163.2	164.3	157.3
11	161.0	163.3	164.4	157.6	160.6
12	163.3	164.5	158.4	160.1	163.3
13	158.2	161.3	163.5	164.6	158.7
14	161.5	163.5	164.7	158.6	162.5
15	163.6	164.8	158.0	162.4	163.6
16	164.5	158.5	160.3	163.4	164.6
17	164.9	157.9	162.3	163.7	165.1
18	155.0	162.2	163.7	164.8	159.6
19	162.1	163.9	165.1	159.3	162.0
20	165.2	159.1	161.6	163.9	165.2
21	164.9	165.1	159.9	162.0	163.7
22	167.6	165.6	165.6	156.7	165.7
23	167.7	165.8	165.9	156.9	165.9
24	166.0	166.0	165.6	165.6	165.5
25	163.7	163.7	165.6	165.6	166.2

consideró que el proceso debía centrarse en 166 gramos para garantizar que todo estuviera en orden. Con esta decisión concluyó el estudio.

a. Dibuje los gráficos de control para los datos obtenidos en el estudio inicial y verifique si el proceso se encontraba bajo control estadístico.

b. ¿Cuáles fueron los valores obtenidos por el grupo para C_p y C_{pk} en el estudio inicial de capacidad? Comente sus conclusiones y explique por qué fue necesario introducir mejoras adicionales.

c. ¿Cuáles son los valores de C_p y C_{pk} después de esas mejoras? Comente sus conclusiones e indique por qué el grupo decidió cambiar la localización de la línea central del proceso.

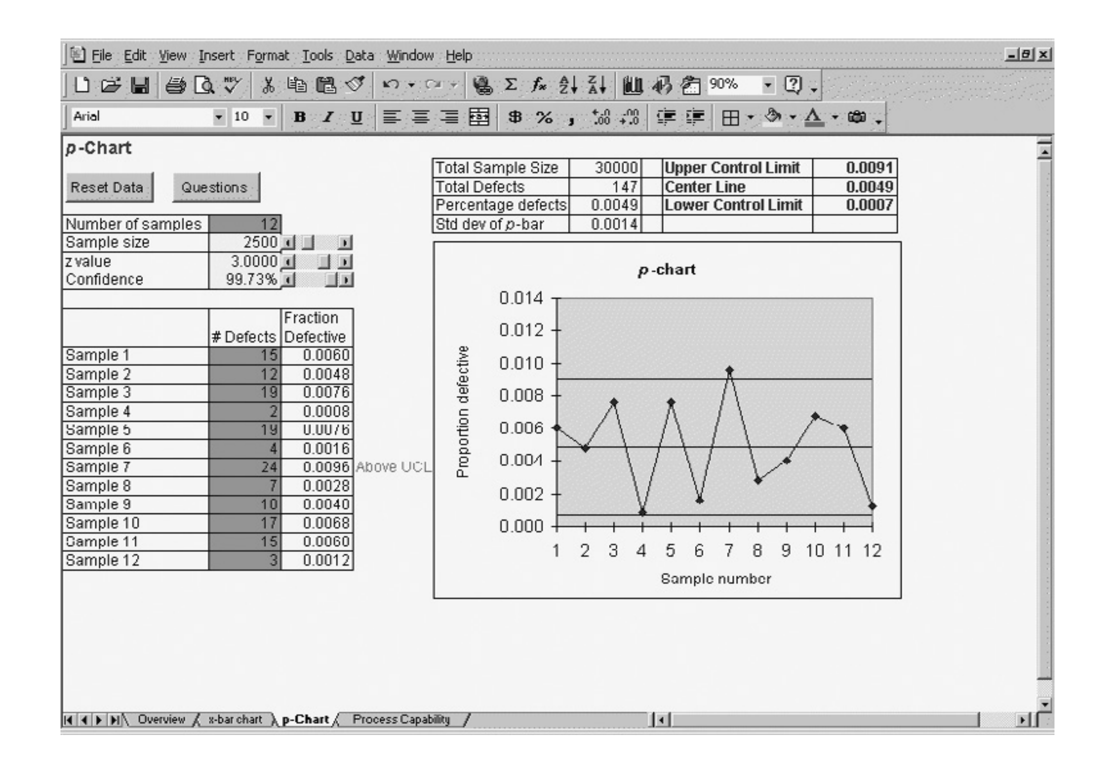
d. ¿Cuáles serían los valores de C_p y C_{pk} si el proceso se centrara en 166? Comente sus conclusiones.

EJERCICIO DE MODELO ACTIVO

Este Modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante. Le permitirá observar los efectos del tamaño de la muestra y el valor z en los gráficos de control.

MODELO ACTIVO 6.2

Gráfico p creado con datos tomados del ejemplo 6.3



PREGUNTAS

1. ¿El proceso de reservaciones ha estado bajo control estadístico?
2. Suponga que usamos un gráfico p de 95%. ¿Cómo cambiarían los límites de control superior e inferior? ¿Qué puede concluir sobre el proceso de reservaciones?
3. Suponga que el tamaño de la muestra se reduce a 2000 en lugar de 2500. ¿Cómo afecta el gráfico este cambio?
4. ¿Qué sucede con el gráfico si se reduce el valor z?
5. ¿Qué sucede con gráfico si se reduce el nivel de confianza?

APRENDIZAJE POR EXPERIENCIA

Control estadístico de procesos mediante el lanzamiento de una moneda

Ejercicio A: gráficos de control para variables

Materiales

1 regla
1 bolígrafo o lápiz
1 moneda (más o menos del tamaño de una moneda de 25 centavos de dólar)
1 metro
Una hoja de trabajo para anotar este ejercicio
Acceso a una calculadora

Tareas

Dividir al grupo en equipos de dos a cuatro personas. Si un equipo está formado por cuatro personas,
una persona deberá sostener el metro y observar la acción,
una persona deberá ajustar la catapulta y realizar los lanzamientos de la moneda,
una persona se encargará de observar la altura máxima alcanzada por la moneda en cada ensayo, y
una persona anotará los resultados.

Si se forman equipos de menos de cuatro personas, consiga un soporte para el metro y combine las demás tareas como resulte más conveniente.

Práctica

Para lanzar la moneda, coloque un bolígrafo o lápiz debajo de la marca de 15 cm de la regla. Coloque la moneda sobre la marca de 28 cm. Presione ambos extremos de la regla hasta donde se pueda. Suelte bruscamente el extremo más cercano a la moneda para que ésta salga despedida por los aires. La persona que sostiene el metro debe colocarlo de modo que permanezca adyacente a la trayectoria de la moneda, pero sin interferir. Para observar la máxima altura que alcanza la moneda, el observador debe colocarse de modo que sus ojos queden más o menos al nivel máximo al cual ascenderá la moneda en su trayectoria. Practiquen hasta que todas las personas se sientan cómodas con sus respectivas funciones. La persona a cargo de accionar la catapulta debe asegurarse de que el bolígrafo o el lápiz utilizado como punto de apoyo no se mueva entre uno y otro disparo, y que los lanzamientos se realicen en la forma más consistente posible.

Paso 1: *Recopilar datos*. Tome cuatro muestras de cinco observaciones (lanzamientos) cada una. Registre la altura máxima alcanzada por la moneda en la primera tabla de datos, en la hoja de trabajo. Al final, determine la media y el rango para cada muestra, y calcule la media de las medias $\bar{\bar{x}}$ y la media de los rangos $\bar{R}$.

Paso 2: *Crear un gráfico R*. Usando los datos recopilados y los valores D_3 y D_4 que correspondan, calcule los límites de control superior e inferior tres sigma para el rango. Anote esos valores y trace rango para cada una de las cuatro muestras en el gráfico de rango en la hoja de trabajo. Asegúrese de indicar una escala apropiada para el rango en el eje *y*.

Paso 3: *Crear un gráfico $\bar{x}$*. Ahora, usando los datos recopilados y el valor apropiado de A_2, calcule los límites de control superior e inferior tres sigma para las medias de las muestras. Anote estos valores y trace la media para cada una de las cuatro muestras en el gráfico $\bar{x}$ en la hoja de trabajo. Una vez más, indique una escala apropiada para el eje *y*.

Paso 4: *Observar el proceso*. Una vez que se haya establecido el gráfico de control para un proceso, ésta se usará para monitorear dicho proceso e identificar cuándo no funciona "normalmente". Recolecte dos muestras más de cinco ensayos cada una, del mismo modo que cuando recopiló la primera serie de datos. Trace el rango y la media de la muestra en los gráficos que creó en la hoja de trabajo cada vez que recopile una muestra. ¿Ha observado algo que haya afectado al proceso? ¿El gráfico indica que el proceso está funcionando de la misma forma que cuando obtuvo los primeros datos?

Paso 5: *Observar un proceso modificado*. Ahora cambie algo (por ejemplo, mueva el lápiz para que ya no esté en la marca de 15 cm). Recopile datos para las muestras 7 y 8. Trace el rango y la media de la muestra en los gráficos que dibujó en la hoja de trabajo al completar cada muestra. ¿Nota usted algún cambio en el proceso con respecto al gráfico de control? Si el proceso ha cambiado, ¿cómo puede usted asegurarse de que dicho cambio es real y que no se debe solamente a la muestra específica que eligió?

Ejercicio B: gráficos de control para atributos

Materiales

1 regla
1 bolígrafo o lápiz
1 moneda (más o menos del tamaño de una moneda de 25 centavos de dólar)
1 vaso de plástico o de papel (de 10 cm de diámetro en el borde)
Una hoja de trabajo para anotar este ejercicio
Acceso a una calculadora

Tareas

Dividir al grupo en equipos de dos o tres personas. Si un equipo está formado por tres personas,
una de ellas deberá ajustar la catapulta y lanzar la moneda,
una persona observará los resultados y recogerá la moneda, y
una persona registrará los resultados.

Si se forman equipos de dos personas, combine las tareas como resulte más conveniente.

Práctica

El propósito es lograr que la moneda, impulsada por la regla, caiga dentro de la taza. Para lanzar la moneda, coloque un bolígrafo o lápiz debajo de la regla, en la marca de 15 cm.

Coloque la moneda sobre la marca de 28 cm y deje que su peso haga descender ese extremo de la regla hasta la superficie de la mesa. Golpee rápidamente con la mano el extremo de la regla que está levantado, de modo que la moneda salga disparada por los aires. Coloque el vaso en el lugar donde cayó la moneda

para que en el próximo lanzamiento la moneda caiga dentro del vaso. Tendrá que practicar varias veces hasta que determine con cuánta fuerza debe golpear la regla y cuál es la mejor posición para el vaso. Asegúrese de que el bolígrafo o lápiz que constituye el punto de apoyo no se mueva entre uno y otro disparo, y que los lanzamientos se realicen en la forma más consistente posible.

Paso 1: *Recopilar datos*. Trate de lanzar la moneda para que caiga en el vaso, repitiendo 10 veces para cada muestra. Registre cada intento en la tabla de datos en la hoja de trabajo, ya sea como un acierto (A) cuando la moneda caiga dentro, o como una falla (F) cuando caiga fuera del vaso. La proporción de fallas será el número total de fallas dividido entre el tamaño de la muestra, n, que en este caso es 10. Como una falla es un "defecto", la proporción de fallas es la proporción de defectos, p.

Paso 2: *Crear un gráfico p.* Calcule los límites de control superior e inferior tres sigma para la fracción promedio defectuosa. Trace esos valores y la media para cada una de las cuatro muestras en el gráfico p, usando la hoja de trabajo.

Paso 3: *Observar el proceso*. Una vez que se establezca el gráfico del proceso, éste se usará para monitorear el proceso e identificar comportamiento anormal. Intercambie las tareas para que otra persona lance la moneda. Después de varios lanzamientos de práctica, tome cuatro muestras más de 10 lanzamientos. Trace el gráfico de la proporción defectuosa en la "producción" de esta persona. ¿El proceso sigue estando bajo control? Si no es así, ¿cuánta seguridad tiene usted de que está fuera de control? ¿Puede determinar los límites de control para un nivel de confianza de 95%? Dentro de esos límites, ¿el proceso revisado sigue estando bajo control?

Fuente: La base del ejercicio A fue preparada por J. Christopher Sandvig, Western Washington University, como una variación del ejercicio "Catapulting Coins", tomado de *Games and Exercises for Operations Management,* de Janelle Heinke y Larry Meile, Prentice-Hall, 1995. Con estas bases, Larry Meile, de Boston College, elaboró el ejercicio A. También preparó el ejercicio B, como una nueva extensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Besterfield, Dale, *Quality Control,* 6ª edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2001.

Brady, Diane, "Will Jeff Immelt's New Push Pay Off for GE?", *Business Week,* 13 de octubre de 2003, pp. 94–98.

Brown, Ed, "The Best Business Hotels", *Fortune,* 17 de marzo de 1997, pp. 204–205.

Collier, David A., *The Service Quality Solution*, Nueva York, Irwin Professional Publishing, Milwaukee, ASQC Quality Press, 1994.

Crosby, Philip B., *Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain,* Nueva York, McGraw-Hill, 1979.

Deming, W. Edwards, *Out of the Crisis*, Cambridge, MA, Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering Study, 1986.

Denton, D. Keith, "Lessons on Competitiveness: Motorola's Approach", *Production and Inventory Management Journal,* tercer trimestre de 1991, pp. 22–25.

Duncan, Acheson J., *Quality Control and Industrial Statistics*, 5a. edición, Homewood, IL, Irwin, 1986.

Feigenbaum, A. V., *Total Quality Control: Engineering and Management*, 3a. edición, Nueva York, McGraw-Hill, 1983.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Juran, J. M. y Frank Gryna, Jr., *Quality Planning and Analysis*, 2a. edición, Nueva York, McGraw-Hill, 1980.

Kalinosky, Ian S., "The Total Quality System—Going Beyond ISO 9000", *Quality Progress.* junio de 1990, pp. 50–53.

Katzenbach, Jon R. y Douglas K. Smith, "The Discipline of Teams", *Harvard Business Review,* marzo-abril de 1993, pp. 111–120.

Kerwin, Kathleen, "When Flawless Isn't Enough", *Business Week*, 8 de diciembre de 2003, pp. 80–82.

Lazarus, Ian R. y Keith Butler, "The Promise of Six Sigma", *Managed Healthcare Executive,* octubre de 2001, pp. 22–26.

Lucier, Gregory T. y Sridhar Seshadri, "GE Takes Six Sigma Beyond the Bottom Line", *Strategic Finance,* mayo de 2001, pp. 41–46.

Miller, Bill, "ISO 9000 and the Small Company: Can I Afford It?", *APICS—The Performance Advantage*, septiembre de 1994, pp. 45–46.

Mitra, Amitava, *Fundamentals of Quality Control and Improvement,* 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1998.

Nakhai, Benham y Joao S. Neves, "The Deming, Baldrige, and European Quality Awards", *Quality Progress,* abril de 1994, pp. 33–37.

Neves, Joao S. y Benham Nakhai, "The Evolution of the Baldrige Award", *Quality Progress,* junio de 1994, pp. 65–70.

Pande, Peter S., Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh, *The Six Sigma Way*, Nueva York, McGraw-Hill, 2000.

Rabbitt, John T. y Peter A. Bergh, *The ISO 9000 Book*, White Plains, Nueva York, Quality Resources, 1993.

Roth, Daniel, "Motorola Lives!" *Fortune,* 27 de septiembre de 1999, pp. 305–306.

Rust, Roland T., Timothy Keiningham, Stephen Clemens y Anthony Zahorik. "Return on Quality at Chase Manhattan Bank", *Interfaces*, volumen 29, número 2, marzo-abril de 1999, pp. 62–72.

Sanders, Lisa, "Going Green with Less Red Tape", *Business Week,* 23 de septiembre de 1996, pp. 75–76.

Schwarz, Anne, "Listening to the Voice of the Customer Is the Key to QVC's Success", *Journal of Organizational Excellence,* invierno de 2004, pp. 3–11.

Sester, Dennis, "Motorola: A Tradition of Quality", *Quality,* octubre de 2001, pp. 30–34.

Sullivan, Lawrence P., "The Power of Taguchi Methods", *Quality Progress*, volumen 20, número 6, 1987, pp. 76–79.

7

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Entender la teoría de restricciones.
2. Definir capacidad y utilización, y su relación con las mediciones financieras del desempeño.
3. Identificar los cuellos de botella.
4. Aplicar la teoría de restricciones a las decisiones sobre la mezcla de productos.
5. Describir las economías y deseconomías de escala.
6. Identificar un método sistemático para la planificación de la capacidad.
7. Describir cómo los modelos, simulación y árboles de decisiones de las filas de espera pueden ayudar a tomar decisiones sobre capacidad.



Después de que las tasas hipotecarias bajaron de manera radical, Eastern Financial Florida Credit Union recibió infinidad de solicitudes de personas que querían refinanciar sus préstamos de vivienda. Para solucionar el cuello de botella, los gerentes de la compañía implementaron los principios de la teoría de restricciones.

CAPÍTULO 7

Administración de restricciones

EASTERN FINANCIAL FLORIDA CREDIT UNION

Eastern Financial Florida Credit Union (EFFCU) es la unión de crédito más grande en el sur de Florida y la tercera más importante en ese estado de la Unión Americana, con 1800 millones de dólares en activos. Tiene 21 sucursales en el sur de Florida y la región de Tampa Bay, atiende a más de 900 compañías que son socias de la unión de crédito y ofrece servicios financieros a más de 197,000 socios particulares, o clientes. Los últimos tres años han sido muy intensivos en cuanto se refiere al refinanciamiento de hipotecas, en virtud de que las tasas cayeron a su nivel más bajo en 40 años. Durante este tiempo, 92% de los acreedores hipotecarios tenían razones económicas para refinanciar. Debido a estas tasas históricas, el departamento de préstamos hipotecarios de EFFCU tuvo que hacer frente al problema de tener más solicitudes de préstamos (compra y refinanciamiento) de las que podía procesar de manera oportuna. Como resultado, EFFCU no podía comprometerse a fijar una fecha de cierre hasta que el proceso estaba ya muy avanzado, los tiempos de espera eran demasiado largos, las prioridades cambiaban constantemente y era necesario gastar mucho dinero. Estas condiciones crearon un ambiente de trabajo tenso en el que era difícil responder a las solicitudes urgentes de los socios. EFFCU necesitaba ayuda.

En diciembre de 2002, la compañía decidió implementar la teoría de restricciones (TOC, del inglés theory of constraints) y sus principios relacionados para crear un entorno en el que los compromisos con los socios podían cumplirse sin trastornar el flujo de trabajo. Posteriormente, la compañía descubrió que el cuello de botella en el flujo de trabajo se estaba formando en su departamento de seguros. A fin de administrar esta restricción, se adoptaron medidas para garantizar que nunca le faltara trabajo al departamento de seguros y que siempre tuviera expedientes para trabajar con ellos; además, se impartió capacitación interfuncional y respaldo para ayudar al departamento cuando fuera necesario. Al tomar todas las demás decisiones en torno de las necesidades del departamento de seguros, la capacidad de EFFCU para tramitar los préstamos y cerrarlos puntualmente mejoró de manera muy considerable.



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

La implementación de la TOC en EFFCU se inició en marzo de 2003. Todos los empleados que trabajaban en el proceso de primera hipoteca recibieron capacitación y los sistemas de incentivos se alinearon con la forma en que dichos empleados observaban el plan de mejoramiento. Cuando al cabo de tres meses las tasas hipotecarias cayeron al nivel más bajo en los últimos 40 años, EFFCU pudo satisfacer la gran demanda de préstamos, mientras que muchas otras instituciones no lo lograron. Las fechas de cierre de las hipotecas se cumplieron a una tasa mejor que 99%, y las quejas de los socios disminuyeron espectacularmente, incluso en el momento más álgido de la crisis de refinanciamiento. Además, con el flujo de trabajo mejorado, se redujo la necesidad de que los empleados trabajaran tiempo extra.

No es de sorprender que las utilidades de EFFCU aumentaran. La compañía está pensando ahora en implementar iniciativas similares en su área de préstamos sobre el valor líquido de la vivienda. Se ha comprometido a seguir un plan continuo para administrar aún mejor los flujos de trabajo, acortar todavía más los tiempos de espera y satisfacer más a sus socios.

Fuente: "Eastern Financial Florida Credit Union: Gaining a Competitive Advantage for Mortgage Lending", www.goldratt.com/effcu.htm; y www.effcu.org, junio de 2005.

restricción

Cualquier factor que limita el desempeño de un sistema y restringe su producción.

capacidad

La tasa de producción máxima de un proceso o sistema.

cuello de botella

Recurso de restricción de capacidad (CCR) cuya capacidad disponible limita la aptitud de la organización para satisfacer el volumen de productos, la mezcla de productos o la fluctuación de la demanda requerida por el mercado.

Suponga que una empresa reestructuró uno de sus procesos por medio de la reingeniería y, pese a todo, los resultados fueron decepcionantes. Los costos siguen siendo altos y la satisfacción de los clientes sigue siendo baja. ¿Cuál podría ser el problema? La respuesta podría ser las restricciones que quedan en uno o más pasos en los procesos de la empresa. Una **restricción** es cualquier factor que limita el desempeño de un sistema y restringe su producción, en tanto que **capacidad** es la tasa de producción máxima de un proceso o sistema. Cuando existen restricciones en cualquiera de los pasos, como ocurrió en Eastern Financial Florida Credit Union, la capacidad puede desequilibrarse, es decir, puede haber demasiada capacidad en algunos departamentos y muy poca en otros. En consecuencia, la producción total del sistema resulta afectada.

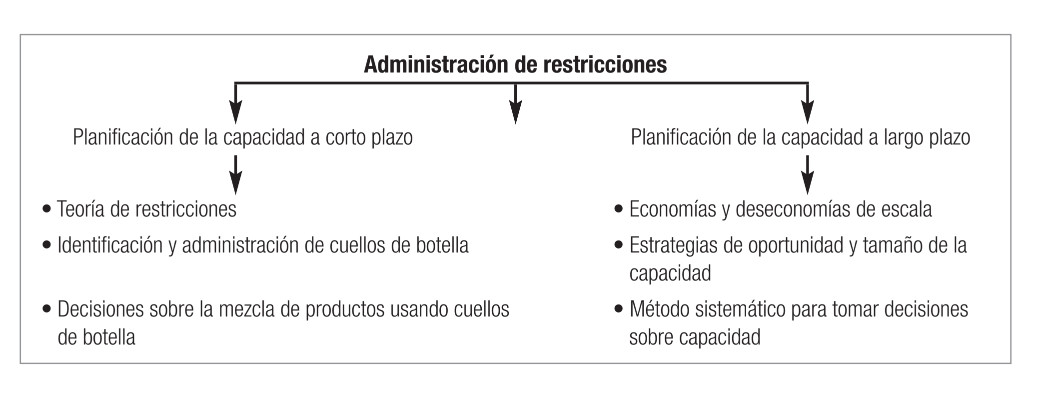
Las restricciones pueden presentarse en cualquier punto de la cadena de suministro, con los proveedores o clientes de la empresa, o dentro de uno de los procesos de la compañía, como el de desarrollo de productos y servicios o surtido de pedidos. Srikanth y Umble (1997) identifican tres tipos de restricciones: físicas (por lo general, capacidad de máquinas, mano de obra o estaciones de trabajo o escasez de materiales, pero podría ser espacio o calidad), de mercado (la demanda es menor que la capacidad), o administrativas (políticas, indicadores de medición o modos de pensar que crean restricciones que entorpecen el flujo de trabajo). **Cuello de botella** es un tipo especial de restricción que se relaciona con la falta de capacidad de un proceso y, por tanto, también se conoce en ciertas condiciones como *recurso de restricción de capacidad* (CCR, del inglés *capacity constraint resource)*. Se define específicamente como cualquier recurso cuya capacidad disponible limita la aptitud de la organización para satisfacer el volumen de productos, la mezcla de productos o la fluctuación de la demanda requerida por el mercado. Un sistema o proceso empresarial tiene por lo menos una restricción o cuello de botella; de lo contrario, su producción sería ilimitada.

Los gerentes son responsables de asegurar que la empresa tenga la capacidad necesaria para satisfacer la demanda presente y futura. De lo contrario, la organización no podría aprovechar las oportunidades para crecer y obtener utilidades. Por lo tanto, realizar ajustes para superar las restricciones es parte importante del trabajo. La experiencia de Eastern Financial Florida Credit Union y otras organizaciones que se desenvuelven en el campo del cuidado de la salud, la banca y la industria manufacturera demuestra la importancia que la administración de las restricciones y los planes de capacidad reviste para el futuro de la organización.

> ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES EN LA ORGANIZACIÓN <

Las decisiones relacionadas con las restricciones y capacidad de un proceso deben tomarse a la luz de la función que el proceso desempeña dentro de la organización y la cadena de valor en su conjunto, porque aumentar o reducir la capacidad de un proceso tiene impacto en los demás procesos de la cadena. Por ejemplo, para ampliar su capacidad en 1989, FedEx compró Flying Tigers, una empresa de aviones de carga de la región Asia-Pacífico. Debido al auge de China en la actividad económica, la decisión ha resultado ser acertada. Sin embargo, el aumento de la capacidad de aviones por sí sola no es la razón por la que la decisión fue exitosa. FedEx también evaluó su proceso de relaciones con los clientes para ver si existía un volumen suficiente de clientes que justificara la medida. La compañía también examinó su proceso de reparto terrestre para ver si era capaz de manejar cargas de trabajo mayores. Toda la cadena de valor, desde la entrada del pedido hasta la entrega, tuvo que diseñarse para ser eficaz.

El ejemplo de FedEx y Flying Tigers muestra que las empresas deben administrar sus restricciones y tomar decisiones sobre la capacidad al nivel del proceso individual, así como al nivel de la organización. Las decisiones detalladas y las opciones que se toman dentro de cada uno de estos niveles afectan dónde se presentarán las restricciones de recursos o cuellos de botella, tanto dentro como entre líneas departamentales. Solucionar un cuello de botella en una parte de una organización tal vez no produzca el efecto deseado si no se atiende también un cuello de botella en otra parte de la organización. Los gerentes de todas las empresas deben entender cómo identificar y administrar los cuellos de botella, cómo relacionar las mediciones de capacidad y desempeño de un proceso con las de otro, y cómo usar esa información para determinar la mejor mezcla de productos de la empresa. Además, estas decisiones deben tomarse a la luz de varios aspectos a largo plazo, como las economías y deseconomías de escala de la empresa, los colchones de capacidad, las estrategias de oportunidad y tamaño y el equilibrio entre el servicio al cliente y la utilización de la capacidad. Este capítulo, organizado de acuerdo con el tipo de decisiones que se toman para diferentes horizontes de tiempo en la administración de las restricciones, explica cómo los gerentes pueden tomar mejor dichas decisiones. La primera parte del capítulo se centra en cómo utilizar mejor la capacidad disponible en el corto plazo, en tanto que en la segunda parte se explica cómo revisar los niveles de capacidad y determinar cuándo agregar o reducir capacidad para el largo plazo. Las cuestiones de corto y largo plazo asociadas con la administración de las restricciones y la capacidad son importantes, y deben entenderse en conjunto.



USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

> LA TEORÍA DE RESTRICCIONES <

La **teoría de restricciones (TOC, del inglés *theory of constraints*)** es un método sistemático de administración que se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta de maximizar el total de fondos o ventas con valor agregado menos los descuentos y los costos variables. Eli Goldratt, un reconocido analista de sistemas empresariales, desarrolló la teoría hace casi tres décadas. Ésta describe un proceso deliberado para identificar y superar las restricciones. El proceso se centra no sólo en la eficiencia de los procesos individuales, sino también en los cuellos de botella que limitan el sistema en su conjunto. EFFCU, en la viñeta de introducción, siguió esta teoría para mejorar sus operaciones.

teoría de restricciones (TOC)
Método sistemático de administración que se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta.

Los métodos de la TOC aumentan las utilidades de la empresa con mayor eficacia que los métodos tradicionales de contabilidad de costos porque son más sensibles al mercado. La mayoría de los métodos de contabilidad de costos se centran en maximizar la producción de los procesos individuales en el corto plazo, en lugar de centrarse en lograr que los materiales fluyan con rapidez a través de todo el sistema. Sin embargo, este método no incrementa las utilidades en todo el sistema si se crean cuellos de botella. Para aumentar las utilidades, las empresas deben estudiar el panorama general: cómo pueden mejorar sus procesos para aumentar los flujos de trabajo de la empresa en su conjunto o reducir sus niveles de inventarios y personal.

MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD, UTILIZACIÓN Y DESEMPEÑO EN LA TOC

Como es lógico, un gerente tiene que medir la capacidad de los procesos para administrar las restricciones a corto plazo y aplicar la TOC. Ninguna medición de la capacidad es aplicable a todas las situaciones. Un comerciante minorista mide la capacidad en función del valor monetario de las ventas anuales generadas por metro cuadrado, mientras que una aerolínea usa como medida de capacidad el número de asientos-millas disponibles (ASM) al mes. Un teatro mide la capacidad por el número de sus localidades y un taller tiene como medida de capacidad el número de horas máquina. En general, la capacidad se expresa en cualquiera de estas dos formas: en términos de las mediciones de salida del producto o como mediciones de los insumos.

Mediciones de capacidad basadas en la producción Las *mediciones basadas en la producción* son más útiles cuando se aplican a procesos individuales dentro de la empresa, o cuando la

empresa provee una cantidad relativamente pequeña de servicios y productos estandarizados. Los procesos de alto volumen, como los de una fábrica de automóviles, son un buen ejemplo. En este caso, la capacidad se mide en función del número de automóviles que se fabrican al día. Sin embargo, muchos procesos producen más de un servicio o producto. A medida que aumenta el grado de personalización y variedad en la mezcla de productos, las mediciones de la capacidad basadas en la producción resultan menos útiles. Entonces, las mediciones basadas en los insumos son la opción habitual para medir la capacidad.

Mediciones de capacidad basadas en los insumos Las *mediciones basadas en los insumos* se utilizan generalmente en procesos flexibles de bajo volumen, como los que se asocian con un fabricante de muebles a la medida. En este caso, el fabricante de muebles podría medir la capacidad en términos de los insumos, como el número de estaciones de trabajo o la cantidad de trabajadores. El problema con las mediciones basadas en los insumos es que la demanda se expresa invariablemente como una tasa de producción. Si el fabricante de muebles quiere mantenerse al día con la demanda, tiene que convertir la demanda anual de muebles en las horas de mano de obra y el número de empleados necesarios para llenar esas horas. Más adelante en este capítulo se explicará con precisión cómo se realiza esta conversión de insumos a salida de productos.

utilización

El grado hasta el cual se usa actualmente el equipo, el espacio o la mano de obra y se mide como la razón de la tasa promedio de producción a la capacidad máxima.

Utilización La **utilización** es el grado hasta el cual se usa actualmente el equipo, el espacio o la mano de obra y se mide como la razón de la tasa promedio de producción a la capacidad máxima (expresada como un porcentaje):

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tasa promedio de producción}}{\text{Capacidad máxima}} \times 100\%$$

La tasa promedio de producción y la capacidad deben medirse en los mismos términos, ya sea en tiempo, clientes, unidades o dinero. La tasa de utilización indica la necesidad de agregar capacidad adicional o eliminar aquella que es innecesaria. La principal dificultad para calcular la utilización radica en definir la *capacidad máxima,* es decir, el denominador de la razón. Un número, como atender a 40 clientes al día, no indica cuánto tiempo puede sostenerse esa tasa. Ser capaz de atender a 40 clientes durante un pico de una semana es muy diferente de sostener esa capacidad durante seis meses. Aquí nos referimos a la capacidad máxima como el nivel más alto de producción que un proceso puede sostener razonablemente durante un periodo largo, con horarios de trabajo realistas para los empleados y el equipo que ya está instalado. En algunos procesos, este nivel de capacidad implica una operación de un turno; en otros, implica una operación de tres turnos. Es posible que un proceso funcione más allá de su nivel de capacidad usando métodos marginales de producción, como tiempo extra, turnos adicionales, reducción temporal de las actividades de mantenimiento, personal de apoyo y subcontratación. Aun cuando todas las opciones mencionadas ayudan a cubrir picos temporales de producción, no es posible sostenerlas por mucho tiempo. Los empleados no quieren trabajar demasiadas horas extra por periodos prolongados, por lo que la calidad decae. Además, los costos asociados con el tiempo extra incrementan los costos globales de la empresa.

Cuando los procesos se operan cerca (o incluso temporalmente por encima) de su capacidad, el resultado es bajo nivel de satisfacción de los clientes, utilidades mínimas e incluso pérdidas de dinero a pesar de los altos niveles de ventas. Esto fue lo que sucedió con los fabricantes de aviones estadounidenses a finales de la década de 1980, crisis que terminó cuando Boeing adquirió McDonnell Douglas en 1997 para acabar con los costos exorbitantes y las utilidades en picada.

Mediciones del desempeño en TOC Para comprender cabalmente el impacto de la utilización en el desempeño, es importante entender las mediciones pertinentes de desempeño y capacidad en el nivel operativo, así como su relación con las mediciones financieras, entendidas en un sentido amplio, al nivel de la empresa. Estas mediciones y relaciones son cruciales para aplicar con éxito los principios de la TOC y se definen en la tabla 7.1.

Desde la perspectiva de la TOC, toda inversión de capital en el sistema, incluida la inversión en maquinaria y materiales de trabajo en proceso, representa inventario porque todas podrían, en potencia, venderse para ganar dinero. Producir un producto o servicio que no conduce a una venta no aumenta el rendimiento de una empresa, pero sí incrementa su inventario y gastos de operación. Siempre es mejor administrar el sistema para que la utilización se maximice en el recurso cuello de botella a fin de maximizar también el rendimiento.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TOC

El principal concepto en el que se basa la TOC es que los cuellos de botella deben programarse para maximizar su producción de servicios o productos, sin dejar de cumplir con las fechas de terminación prometidas. Por ejemplo, la fabricación de rastrillos para jardinería incluye la operación de unir un arco al cabezal. Los cabezales de los rastrillos deben procesarse en la prensa troqueladora, soldarse al arco, limpiarse y ensamblarse en el mango, para formar así el rastrillo completo, el cual se empaca y, finalmente, se envía a Sears, Home Depot o Wal-Mart, de acuerdo con un programa específico de

TABLA 7.1 Cómo se relacionan las medidas de operación de la empresa con las mediciones financieras

Medidas de operación	Perspectiva de la TOC	Relación con las mediciones financieras
Inventario (I)	Todo el dinero invertido en un sistema para comprar cosas que se propone vender.	Una disminución en I produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.
Producción (P)	Tasa a la cual un sistema genera dinero por medio de las ventas.	Un incremento en P produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.
Gastos de operación (GO)	Todo el dinero que un sistema gasta para convertir el inventario en producción.	Una disminución en GO produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo.
Utilización (U)	El grado hasta el cual se usa actualmente el equipo, el espacio o la mano de obra, y se mide como la razón de la tasa promedio de producción a la capacidad máxima, expresada como un porcentaje.	Un incremento en U en el cuello de botella produce un aumento en las utilidades netas, ROI y los flujos de efectivo

reparto. Suponga que los compromisos de entrega de todos los estilos de rastrillos para el mes entrante indican que la máquina soldadora estará ocupada al 105% de su capacidad, en tanto que los demás procesos se utilizarán únicamente al 75% de su respectiva capacidad. De acuerdo con la TOC, la máquina soldadora es un recurso cuello de botella, en tanto que los procesos de troquelado, limpieza, colocación del mango, empaque y envío son recursos que no constituyen cuellos de botella. Cualquier tiempo ocioso en la máquina soldadora debe eliminarse para maximizar la producción. Por lo tanto, la dirección tendrá que centrar la atención en la programación de la máquina soldadora.

Los siete principios fundamentales de la TOC que giran en torno del uso y programación eficientes de los cuellos de botella, y el mejoramiento del flujo y producción, se resumen en la tabla 7.2.

La aplicación práctica de la TOC abarca los siguientes pasos:

1. *Identificar el o los cuellos de botella del sistema.* En el ejemplo del rastrillo, el cuello de botella está en la máquina soldadora porque ésta restringe la capacidad de la empresa para cumplir con el programa de envíos y, en consecuencia, restringe los fondos totales con valor agregado. Un poco más adelante en este mismo capítulo se estudiarán con mayor detalle otras maneras de identificar los cuellos de botella.
2. *Explotar el o los cuellos de botella.* Crear programas que maximicen la producción del o los cuellos de botella. En el ejemplo del rastrillo, esto consistiría en programar la máquina soldadora con miras a maximizar su utilización, cumpliendo con los compromisos de envío en el mayor grado posible. También es necesario asegurar que sólo partes de buena calidad se pasen al cuello de botella.
3. *Subordinar todas las demás decisiones al paso 2.* Los recursos que no constituyen cuellos de botella deberán programarse de modo que apoyen el programa del cuello de botella y no produzcan más de lo que este último puede manejar. Es decir, la prensa troqueladora no debe producir un volumen mayor que el que la máquina soldadora sea capaz de manejar y las actividades de limpieza y otras operaciones posteriores deben basarse en la tasa de producción de la máquina soldadora.
4. *Elevar el o los cuellos de botella.* Si el cuello de botella sigue siendo una restricción para la producción después de que las mejoras de programación descritas en los pasos 1 a 3 se han

TABLA 7.2 Siete principios fundamentales de la teoría de restricciones

1. La atención debe centrarse en equilibrar el flujo y no en equilibrar la capacidad.
2. La maximización de la producción y la eficiencia de cada recurso no maximiza la producción de todo el sistema.
3. Una hora perdida en un cuello de botella o un recurso restringido es una hora perdida para todo el sistema. En contraste, una hora ahorrada en un recurso que no constituye un cuello de botella en un espejismo, porque no contribuye a que todo el sistema sea más productivo.
4. Se necesita inventario sólo al frente de los cuellos de botella para impedir que queden ociosos, y frente a los puntos de ensamblaje y envío para proteger los programas de los clientes. Debe evitarse generar inventarios en cualquier otra parte.
5. El trabajo, trátese de materiales, información que se procesará, documentos o clientes, debe introducirse en el sistema sólo con la frecuencia que los cuellos de botella lo necesiten. Los flujos del cuello de botella deben ser iguales a la demanda del mercado. Ajustar todo de acuerdo con el recurso más lento minimiza el inventario y los gastos de operación.
6. Activar un recurso que no constituye un cuello de botella (usarlo para mejorar la eficiencia que no incrementa la producción) no es lo mismo que utilizar el recurso cuello de botella (que sí conduce a una mejor producción). La activación de los recursos que no constituyen cuellos de botella no puede incrementar la producción ni promover un mejor desempeño de las mediciones financieras descritas en la tabla 7.1.
7. Toda inversión de capital debe considerarse desde la perspectiva de su impacto global en la producción (P), inventario (I) y gastos de operación (GO).

implementado, la gerencia debe considerar la posibilidad de incrementar la capacidad del cuello de botella. Por ejemplo, si la operación de soldadura sigue siendo una restricción después de agotar las mejoras al programa, habrá que considerar la posibilidad de incrementar su capacidad agregando otro turno u otra máquina soldadora. Hay otros mecanismos disponibles para incrementar la capacidad del cuello de botella, que se explicarán un poco más adelante.

5. *No permitir que la inercia se imponga*. Las medidas tomadas en los pasos 3 y 4 mejorarán la producción de la máquina soldadora y, tal vez, alterarán las cargas de trabajo de otros procesos. En consecuencia, es posible que la(s) restricción(es) del sistema se desplacen. Entonces, todo el proceso deberá repetirse para identificar y administrar el nuevo conjunto de restricciones.

DEncontrará detalles sobre el método de programación utilizado en la TOC en Simons y Simpson (1997). Debido a su potencial para mejorar el desempeño de manera espectacular, muchos fabricantes han aplicado los principios de la teoría de restricciones, entre otros, National Semiconductor, Dresser Industries, Allied-Signal, Bethlehem Steel, Johnson Controls y Rockwell Automotive. Todos los fabricantes que implementan los principios de la TOC también pueden modificar radicalmente el modo de pensar de empleados y gerentes. En lugar de centrarse exclusivamente en sus propias funciones, ven el "panorama general" y dónde pueden hacerse otras mejoras en el sistema. Esta ventaja se evidencia con la experiencia de Bal Seal Engineering (véase la Práctica administrativa 7.1).

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 7.1

EL USO DE LOS PRINCIPIOS DE LA TOC BENEFICIA A BAL SEAL ENGINEERING

Bal Seal Engineering diseña y produce juntas y resortes para las industrias aeroespacial, automovilística, equipo médico y dental, transporte, y aparatos electrónicos. Bal Seal tiene oficinas tanto en Estados Unidos como en Europa. Sus ingenieros se especializan en soluciones únicas de sellado y ofrecen una variedad considerable de productos. Sus procesos de manufactura son por lotes.

Antes de que las prácticas de la TOC se implementaran en Bal Seal, las mediciones de mejoramiento sólo se centraban en la eficiencia de cada departamento en lo individual. Como resultado, Bal Seal tenía muchas dificultades con inventarios excesivos, tiempos de espera muy largos y todo un equipo de producción que trabajaba normalmente entre 55 y 58 horas por semana. A pesar de operar muy por encima de la capacidad, la tasa de envíos puntuales se ubicaba apenas en el rango de 80 y 85%.

¿Qué estaba sucediendo? Bal Seal formó un equipo y aprendió la TOC y los procesos de pensamiento crítico asociados con esta teoría. Los resultados fueron espectaculares y sumamente notorios. Casi de inmediato, los inventarios acumulados empezaron a agotarse. Algunos trabajadores de producción se preocuparon, porque tener inventario desperdigado por todas partes les daba una sensación de seguridad. También les preocupaban los índices de eficiencia y una posible reducción de los salarios. Un miembro del equipo de diseño se reunió con cada uno de los trabajadores directos de producción y explicó que no había de qué preocuparse si no tenían nada que hacer. En esta nueva forma de utilización de la capacidad y administración de las tasas de producción, sólo la restricción debía manteherse productiva todo el tiempo. Los demás centros de trabajo estaban ligados a esa restricción y su labor consistía en estar disponibles y listos para cuando llegara el trabajo.

Bajo la TOC, empezó a aparecer capacidad extra por todas partes, salvo en la restricción. Mientras que la compañía había sido capaz de producir un máximo de 65,000 partes por semana, después de la TOC, la producción total aumentó a 100,000 por semana. Incluso a esta elevada tasa de producción, los centros de trabajo que no constituían restricción operaban muy por debajo de su capacidad la mayor parte del tiempo. Otros efectos casi inmediatos fueron las reducciones en los tiempos de respuesta al cliente (de seis semanas a ocho días) y una mejora en los envíos puntuales de hasta 97%. La satisfacción de los clientes aumentó, aunque al principio los clientes se preguntaban si el desempeño de Bal Seal era sólo una condición temporal. El tiempo demostró la permanencia de las mejoras.

Sin embargo, las mejoras que produjo la TOC provocaron otros cambios en la empresa. Los trabajadores estaban acostumbrados a recibir continuamente el pago de entre 15 y 18 horas de tiempo extra por semana. A medida que el desempeño de la planta de Bal Seal mejoraba y la producción aumentaba, los trabajadores temieron la pérdida de ingresos. Para mitigar esos temores, la gerencia pagó a los trabajadores la misma cantidad que recibían anteriormente, a pesar de que la semana laboral era más corta. Fue una situación en la que todos salieron ganando: la gerencia obtuvo una mayor producción y los trabajadores ganaron más tiempo libre, sin merma de sus ingresos netos.



Juntas para ejes rotativos Juntas de blindaje EMI Juntas PTFE para movimientos alternativos

Las mejoras en las mediciones del desempeño operativo y financiero (tabla 7.1) con la aplicación de la TOC en Bal Seal Engineering fueron espectaculares. Las utilidades netas se duplicaron, los gastos de operación disminuyeron, los tiempos de espera más cortos y la mejor atención a los clientes redundaron en una verdadera ventaja competitiva. Ahora que el proceso de surtido de pedidos ha quedado limpio y ordenado, el siguiente reto consiste en recomponer el proceso de relaciones con los clientes, ya que los vendedores de Bal Seal se encargaban antes de tomar los pedidos. La meta es que los vendedores tengan más iniciativa, aumenten su contacto con los clientes y busquen negocios adicionales para aprovechar la tasa más alta de producción de la planta. Ahí también hay lecciones de la TOC que pueden aplicarse.

Fuente: "Theory of Constraints Case Study: Bal Seal Engineering"; www.goldratt.com/balsealerp.htm, junio de 2005. Se reproduce con autorización de Midrange ERP and Supply Chain Technology News, Copyright © Penton Media, Inc.

> IDENTIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LOS CUELLOS DE BOTELLA <

Los cuellos de botella en una empresa pueden ser internos o externos, y típicamente representan un proceso o un paso que tiene la capacidad menor y la **tasa de producción (por unidad de tiempo)** mayor, es decir, el tiempo total que dura un proceso de principio a fin. Hay varias maneras de identificar dónde se produce un cuello de botella en un proceso de servicio o manufactura determinado. El cuello de botella puede presentarse en la estación de trabajo con el mayor tiempo total por unidad procesada, o la estación de trabajo con la utilización promedio más alta y la mayor carga de trabajo total, o la estación de trabajo donde aun una de reducción de un solo minuto en el tiempo de procesamiento reduce la tasa promedio de producción del proceso entero. El ejemplo 7.1 ilustra cómo identificar un paso o actividad cuello de botella en un proceso de aprobación de préstamos en un banco.

tasa de producción (por unidad de tiempo)
El tiempo total que dura un proceso de principio a fin.

Identificación del cuello de botella en un proceso de servicio — EJEMPLO 7.1

Los gerentes del First Community Bank quieren acortar el tiempo que se necesita para tramitar y aprobar las solicitudes de crédito de los clientes. El diagrama de flujo de este proceso, que consiste en varias actividades, cada una de las cuales realiza un empleado diferente del banco, se muestra en la figura 7.1. Las solicitudes de préstamo se reciben en la actividad o paso 1, donde se revisan para ver si están completas y se ponen en orden. En el paso 2, los préstamos se clasifican en distintas categorías de acuerdo con el monto del préstamo y si éste se solicita por motivos personales o comerciales. Aunque la verificación del historial de crédito comienza en el paso 3, los datos de la solicitud de préstamo se introducen en paralelo en el sistema de información para efectos de mantenimiento de registros en el paso 4. El banco conserva estos datos incluso si la solicitud de préstamo se rechaza finalmente. La decisión de aprobar o rechazar el préstamo se toma en el paso 5. Si el préstamo se aprueba, todo el papeleo para abrir la nueva cuenta de préstamo se realiza en el paso 6. El tiempo que tarda cada paso se indica entre paréntesis.

Suponiendo que no hay ningún tiempo de espera entre los pasos, ¿cuál de éstos es el cuello de botella? A la gerencia también le interesa conocer el máximo número posible de cuentas de préstamo que el banco puede terminar de procesar en una jornada de cinco horas.

SOLUCIÓN

El cuello de botella se define como el paso en el que una reducción de un solo minuto reduce la tasa promedio de producción (por unidad de tiempo). Usando esta definición, se puede ver que el paso 2 es el cuello de botella en el proceso de aprobación de préstamos, porque una reducción en el contenido de trabajo de este paso reduce la tasa total de producción por unidad de tiempo.

Se necesitan 10 + 20 + máx(15, 12) + 5 + 10 = 60 minutos para completar una solicitud de préstamo aprobada. Aunque se supone que no hay tiempo de espera antes de ningún paso, en la práctica los procesos no siempre se desarrollan con esa fluidez. Por tanto, el tiempo real que se necesita para tramitar y aprobar un préstamo es de más de 60 minutos, debido a la llegada no uniforme de las solicitudes, las variaciones en los tiempos reales de procesamiento y otros factores relacionados.

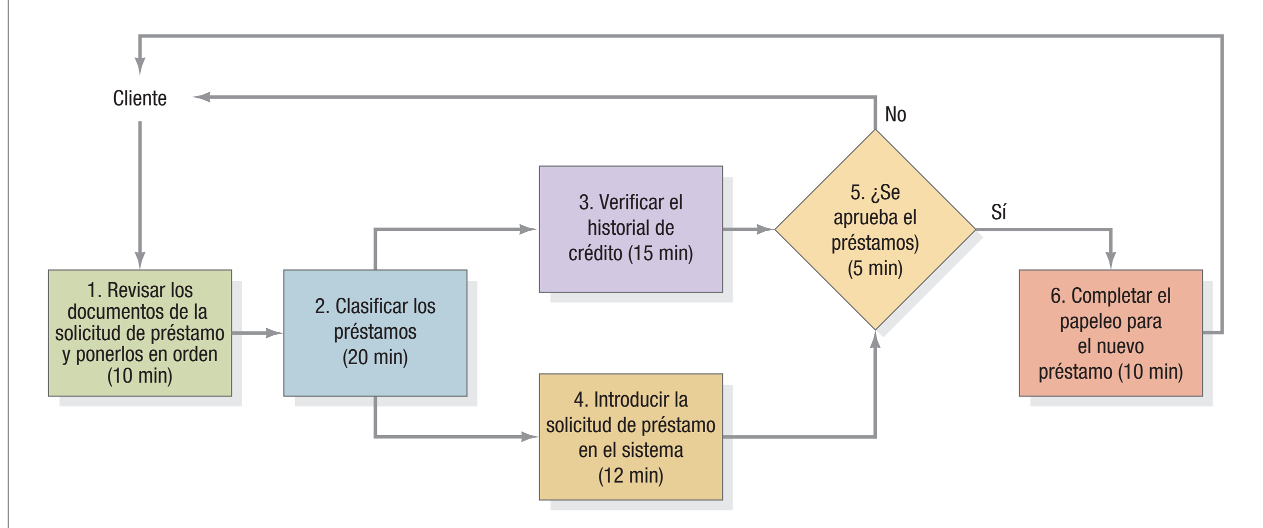


FIGURA 7.1 | Procesamiento de solicitudes de préstamo en el First Community Bank

La capacidad para tramitar los préstamos se obtiene traduciendo los “minutos por cliente” en el paso cuello de botella a “clientes por hora”. En el First Community Bank, son tres clientes por hora porque en el paso 2, que es el cuello de botella, se puede procesar la solicitud de un solo cliente cada 20 minutos (60/3).

Punto de decisión El paso 2 es la restricción o cuello de botella. Si todos los préstamos se aprueban, el banco podrá completar un máximo de sólo 3 cuentas de préstamo por hora, o 15 nuevas cuentas de préstamo en una jornada laboral de cinco horas.

Un proceso de mostrador que tiene un alto grado de contacto con los clientes y divergencia no tiene los flujos lineales sencillos que se muestran en el ejemplo 7.1. Sus operaciones pueden dar servicio a muchos tipos diferentes de clientes, y las demandas de cualquiera de las operaciones pueden variar considerablemente de un día para otro. Aun así, es posible identificar los cuellos de botella si se calcula la utilización promedio de cada operación. Sin embargo, la variabilidad de la carga de trabajo también crea *cuellos de botella flotantes.* En una semana, la mezcla de trabajo puede hacer que la operación 1 se convierta en un cuello de botella, y la mezcla de la semana siguiente puede hacer que la operación 3 sea el cuello de botella. Este tipo de variabilidad incrementa la complejidad de la programación del trabajo de cada día. En esta situación, la gerencia prefiere que las tasas de utilización sean bajas, pues éstas le permiten una mayor holgura para absorber incrementos inesperados de la demanda.

Si múltiples productos o servicios intervienen en el proceso, por lo general se necesita tiempo adicional para los cambios de un producto o servicio al siguiente, lo que a su vez incrementa la sobrecarga en la estación de trabajo donde se realiza el cambio. El **tiempo de preparación** es el lapso que se requiere para cambiar o reajustar un proceso u operación a fin de que empiece a elaborar otro producto o servicio. El ejemplo 7.2 ilustra cómo se puede identificar un cuello de botella en un entono manufacturero cuando los tiempos de preparación son insignificantes y la estación de trabajo que tiene la mayor carga total actúa como cuello de botella.

tiempo de preparación

El lapso que se requiere para cambiar o reajustar un proceso u operación a fin de que empiece a elaborar otro producto o servicio.

EJEMPLO 7.2 Identificación del cuello de botella en un proceso manufacturero

Diablo Electronics fabrica cuatro productos únicos (A, B, C y D) que se producen y ensamblan en cinco estaciones de trabajo diferentes (V, W, X, Y y Z) usando un proceso por lotes pequeños. En cada estación de trabajo hay un obrero que trabaja un solo turno al día en su estación de trabajo asignada. Los tiempos de preparación de los lotes son insignificantes. Un diagrama de flujo denota la ruta que sigue cada producto a través del proceso de manufactura, como se ilustra en la figura 7.2, donde también se indican el precio, la demanda semanal y los tiempos de procesamiento por unidad de cada producto. Los triángulos invertidos representan las partes compradas y las materias primas consumidas por unidad en las distintas estaciones de trabajo. Diablo puede fabricar y vender hasta el límite de la demanda semanal y no incurre en ninguna penalización si no es capaz de satisfacer toda la demanda.

¿Cuál de las cinco estaciones de trabajo, V, W, X, Y o Z, tiene la mayor carga total de trabajo y, por tanto, constituye el cuello de botella en Diablo Electronics?

SOLUCIÓN

No es necesario usar la utilización para determinar el cuello de botella, ya que el denominador de la razón de utilización es igual para cada estación de trabajo, con un obrero por máquina en cada paso del proceso. Por tanto, para identificar el cuello de botella se calculan las cargas de trabajo agregadas en cada estación de trabajo.

La empresa necesita satisfacer la mayor demanda posible por semana de los productos. Cada semana está formada por 2400 minutos de tiempo disponible de producción. El tiempo de procesamiento en cada estación para un producto determinado se multiplica por el número de unidades demandadas por semana para obtener la carga de capacidad. Se suman las cargas de todos los productos que pasan por la estación de trabajo y luego se comparan con la capacidad existente de 2400 minutos.

Estación de trabajo	Carga del producto A	Carga del producto B	Carga del producto C	Carga del producto D	Carga total (min)
V	$60 \times 30 = 1{,}800$	0	0	0	1,800
W	0	0	$80 \times 5 = 400$	$100 \times 15 = 1{,}500$	1,900
X	$60 \times 10 = 600$	$80 \times 20 = 1{,}600$	$80 \times 5 = 400$	0	2,600
Y	$60 \times 10 = 600$	$80 \times 10 = 800$	$80 \times 5 = 400$	$100 \times 5 = 500$	2,300
Z	0	0	$80 \times 5 = 400$	$100 \times 10 = 1{,}000$	1,400

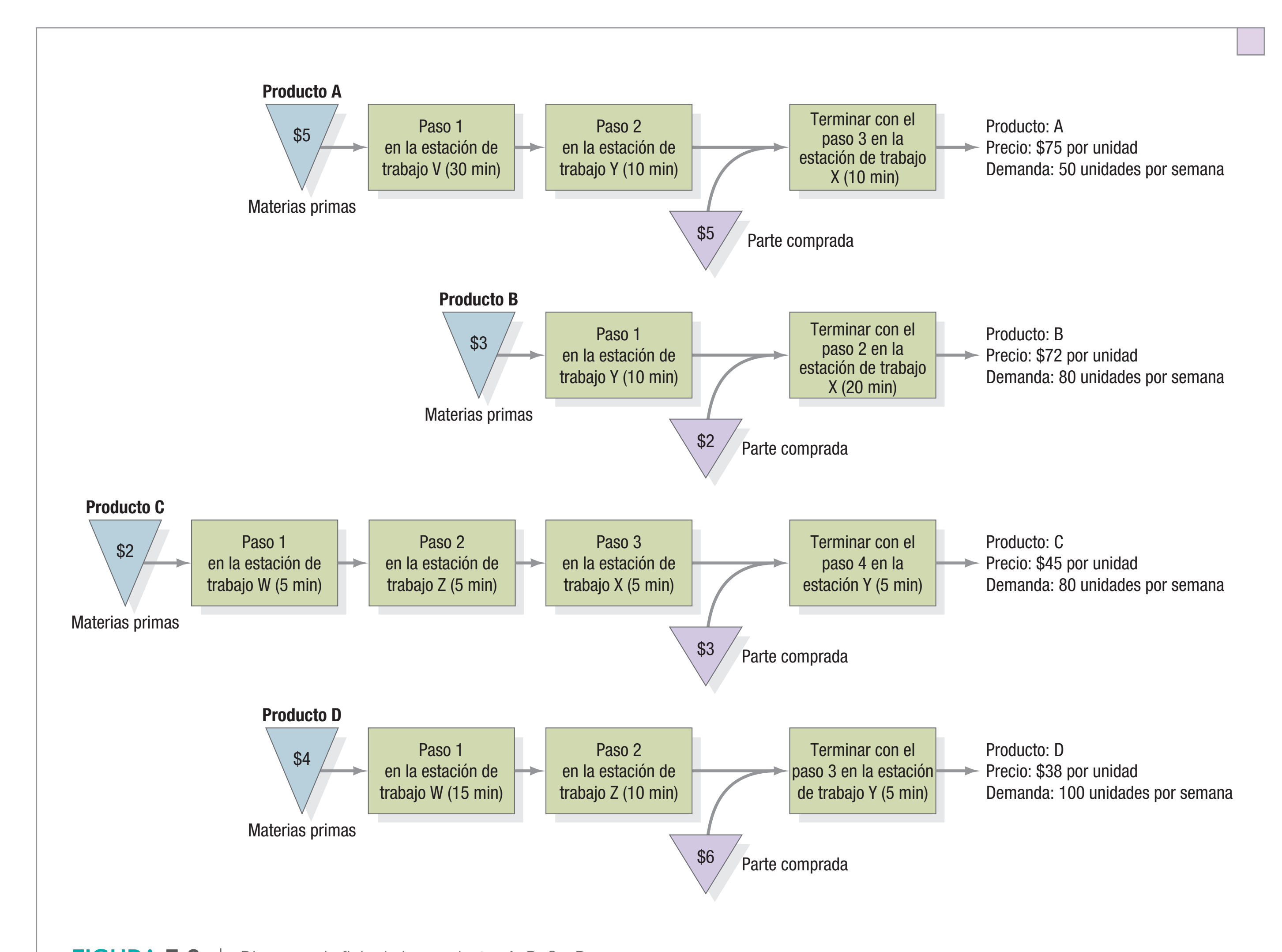


FIGURA 7.2 | Diagrama de flujo de los productos A, B, C y D

Punto de decisión La estación de trabajo X es el cuello de botella en Diablo Electronics porque la carga de trabajo agregada en X es superior a las cargas de trabajo agregadas de las estaciones de trabajo V, W, Y y Z y la capacidad máxima disponible de 2400 minutos por semana.

La identificación de los cuellos de botella se dificulta mucho más cuando los tiempos de preparación son largos y el grado de divergencia en el proceso es mayor que el que se muestra en el ejemplo 7.2. Una vez más, es probable que la variabilidad en las cargas de trabajo cree cuellos de botella flotantes, en especial si la mayoría de los procesos comprenden múltiples operaciones y, con frecuencia, sus capacidades no son idénticas. En la práctica, estos cuellos de botella también pueden determinarse si se pregunta a los trabajadores y supervisores de la planta dónde pueden localizarse los cuellos de botella y se busca el material apilado frente a las diferentes estaciones de trabajo.

La clave para preservar la capacidad del cuello de botella radica en monitorear cuidadosamente los programas a corto plazo y mantener los recursos cuello de botella tan ocupados como resulte práctico. Los gerentes deben minimizar el tiempo ocioso en los cuellos de botella que provocan los retrasos en otras partes del sistema y asegurar que el cuello de botella cuente con todos los recursos que necesita para mantenerse ocupado. Cuando se realiza un cambio en la preparación en un cuello de botella, el número de unidades o clientes procesados antes del siguiente cambio debe ser grande en comparación con el número procesado en operaciones menos críticas. Maximizar el número de unidades procesadas por preparación implica menos preparaciones al año y, por tanto, menos tiempo total perdido en hacer las preparaciones. El número de preparaciones también depende de la variedad requerida de productos; más variedad exige cambios con mayor frecuencia.

Hay varias maneras de ampliar la capacidad a largo plazo de las operaciones en los cuellos de botella. Se pueden realizar inversiones en equipo nuevo y en ampliaciones de las instalaciones físicas. La capacidad de los cuellos de botella también puede ampliarse si se operan más horas a la semana, por ejemplo, contratando más empleados y pasando de una operación de un solo turno a varios turnos, o contratando más empleados y operando la planta seis o siete días a la semana en lugar de cinco días a la semana. Los gerentes también pueden aliviar los cuellos de botella con el rediseño de los procesos, ya sea mediante la *reingeniería de procesos* o el *mejoramiento de procesos,* o comprando maquinaria adicional o máquinas que admitan más capacidad.

Los principios de la TOC que se han descrito tienen una base relativamente amplia y son de aplicación común. Son útiles para evaluar procesos individuales, así como los grandes sistemas de fabricantes y proveedores de servicio. Las organizaciones de servicio, como Delta Airlines, United Airlines y la Fuerza Aérea de Estados Unidos utilizan la TOC en su beneficio. La Práctica administrativa 7.2 muestra cómo los principios de la TOC mejoraron los flujos en el sistema de cuidado de la salud de la Fuerza Aérea estadounidense, así como en muchos hospitales de Estados Unidos.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 7.2 ADMINISTRACIÓN DE RESTRICCIONES EN EL CUIDADO DE LA SALUD

En virtud de que la población de Estados Unidos está aumentando y la generación de la posguerra está envejeciendo, la capacidad del cuidado de la salud en la Unión Americana está llegando al límite. Los hospitales de todo el país no tienen suficientes camas, espacio en el departamento de urgencias (DU) y personal. Parte del problema es que la ampliación de las instalaciones de un hospital (construir nuevos edificios, etcétera) puede tardar entre dos y cinco años y tiene un costo sumamente alto. Esta situación deja pocas oportunidades a los administradores de los hospitales, que no tienen más remedio que tratar de maximizar la capacidad a corto plazo.

Una encuesta realizada en 2005 entre 487 directores generales de hospitales reveló que más de 75% de los encuestados trataban de hacer frente al problema identificando los cuellos de botella o las ineficiencias. Dos terceras partes de los encuestados dijeron que intentaban lograrlo mediante la reducción de la duración total de la estancia de los pacientes y acelerando el paso de los pacientes por el sistema, lo que puede liberar la capacidad de un hospital entre 15 y 25%. El Institute of Healthcare Improvement realizó un estudio de 60 hospitales de Estados Unidos y el Reino Unido, que mostró iniciativas que incluían aligerar el flujo de pacientes que necesitaban cirugía optativa (programándolos en las horas de menos movimiento), reducir los tiempos de espera de los pacientes admitidos en los departamentos de urgencias, trasladar a los pacientes de la unidad de cuidados intensivos a las unidades médicas o quirúrgicas de manera oportuna y cambiar a los pacientes a la condición de "pacientes hospitalizados" o trasladarlos a instituciones de cuidados a largo plazo con mayor rapidez.

El Sistema del Cuidado de la Salud de la Fuerza Aérea de Estados Unidos aplica también estas estrategias. Con 120 centros médicos y una base de pacientes de aproximadamente 3 millones de personas, se esfuerza continuamente por mejorar su desempeño. Se formó un equipo para rediseñar el proceso en el cuidado de la salud. Los integrantes del equipo provenían de todos los niveles de la Fuerza Aérea, incluidos el cuartel general, los niveles de alto mando y cada uno de los hospitales.

El equipo identificó cuellos de botella en las salas de operaciones, la parte que registraba los costos más altos y generaba los mayores ingresos de todos sus procesos. Mediante la aplicación de los principios de la TOC, el equipo mejoró el desempeño del sistema al trazar planes que subordinaban todos los demás recursos a este proceso clave. En otro caso, el Grupo Médico 366º de la Fuerza Aérea de Estados Unidos aplicó los principios de la TOC para reducir el tiempo de espera en las citas rutinarias de atención primaria, de un promedio de 17 días a 4.5 días. Mejor aún, el grupo pudo lograr esta mejora sin que el grupo médico incurriera en ningún costo adicional.



Un técnico quirúrgico, un cirujano ortopedista y un cirujano general se preparan para operar a un paciente en una instalación de la línea de vanguardia en apoyo a la operación Libertad Duradera. La Fuerza Aérea de Estados Unido entiende que los cirujanos son la clave de la operación óptima de sus procesos en el cuidado de la salud.

Fuentes: "Maximizing Hospital Capacity", *Healthcare Executive*, enero-febrero de 2003, pp. 58–59; C. Haraden y R. Resar, "Patient Flow in Hospitals: Understanding and Controlling it Better", Haraden y Resar, *Frontiers of Health Services Management*, volumen 20, número 1, pp. 3–15; "Goldratt's Thinking Process Applied to Medical Claims Processing", *Hospital Topics: Research and Perspectives on Healthcare*, volumen 80, número 4 , otoño de 2002, pp. 13–21; "Confronting Capacity Shortages", *Healthcare Executive.* enero-febrero de 2005, p. 61.

DECISIONES SOBRE LA MEZCLA DE PRODUCTOS USANDO CUELLOS DE BOTELLA

Los gerentes pueden sentirse tentados a producir los productos con los márgenes de utilidad más altos o las mejores ventas unitarias. El problema que presenta este método es que la tasa de producción real de la empresa y la rentabilidad general dependen más del margen de utilidad generado en el cuello de botella que en el de cada producto fabricado. El ejemplo 7.3 ilustra este concepto.

Determinación de la mezcla de productos usando cuellos de botella — EJEMPLO 7.3

La alta dirección de Diablo Electronics desea mejorar la rentabilidad mediante la aceptación del conjunto correcto de pedidos, y recabó algunos datos financieros adicionales. Cada trabajador gana un salario de $18 por hora. Los costos variables generales ascienden a $8,500 por semana. La planta opera un turno diario de 8 horas, o 40 horas a la semana. En la actualidad, se toman decisiones para aceptar la mayor cantidad posible del producto que tiene el margen más alto de utilidad (hasta el límite de la demanda), seguido por el producto que tiene el segundo margen más alto de utilidad, y así sucesivamente hasta que no queda más capacidad disponible. Debido a que la empresa no puede satisfacer toda la demanda, la mezcla de productos debe elegirse con cuidado. Pedro Rodríguez, el recién contratado supervisor de producción, conoce bien la teoría de restricciones y la programación basada en los cuellos de botella. Pedro cree que, en efecto, la rentabilidad puede mejorar si se explotan los cuellos de botella para determinar la mezcla de productos. ¿Cuál sería el cambio en las utilidades si, en lugar del método que tradicionalmente usa Diablo Electronics, se siguiera el método basado en los cuellos de botella que ha propuesto Pedro para seleccionar la mezcla de productos?

SOLUCIÓN

Regla de decisión 1: Seleccionar la mejor mezcla de productos de acuerdo con el margen más alto de utilidad total de cada producto.

Paso 1: Calcule el margen de utilidad por unidad de cada producto como se muestra aquí.

	A	B	C	D
Precio	$75.00	$72.00	$45.00	$38.00
Materias primas y partes compradas	−10.00	−5.00	−5.00	−10.00
Mano de obra	−15.00	−9.00	−6.00	−9.00
= Margen de utilidad	$50.00	$58.00	$34.00	$19.00

Al ordenar las cifras de mayor a menor, la secuencia del margen de utilidad por unidad de estos productos es B, A, C, D.

Paso 2: Asigne los recursos V, W, X, Y y Z a los productos en el orden decidido en el paso 1. Satisfaga cada demanda hasta toparse con el recurso cuello de botella (la estación de trabajo X). Reste los minutos de los 2400 minutos disponibles para cada semana en cada etapa.

Centro de trabajo	Minutos al inicio	Minutos restantes después de fabricar 80 B	Minutos restantes después de fabricar 60 A	Sólo se pueden fabricar 40 C	Aún se pueden fabricar 100 D
V	2,400	2,400	600	600	600
W	2,400	2,400	2,400	2,200	700
X	2,400	800	200	0	0
Y	2,400	1,600	1,000	800	300
Z	2,400	2,400	2,400	2,200	1,200

La mejor mezcla de productos de acuerdo con este método tradicional es pues, 60 A, 80 B, 40 C y 100 D.

Paso 3: Calcule la rentabilidad de la mezcla de productos seleccionada.

	Utilidades	
Ingresos	(60 × $75) + (80 × $72) + (40 × $45) + (100 × $38) =	$15,860
Materiales	(60 × $10) + (80 × $5) + (40 × $5) + (100 × $10) =	− $2,200
Mano de obra	(5 trabajadores) × (8 horas/día) × (5 días/semana) × ($18/hora) =	− $3,600
Gastos Generales	=	− $8,500
Utilidad		$1,560

Observe que en ausencia de tiempo extra, el costo de la mano es fijo y equivale a $3,600 por semana, sin importar la mezcla de productos seleccionada. La fabricación de la mezcla de productos 60 A, 80 B, 40 C y 100 D produce utilidades de $1,560 por semana.

Regla de decisión 2: Seleccionar la mejor mezcla de productos de acuerdo con el margen de utilidad en dólares por minuto de tiempo de procesamiento en el cuello de botella, esto es, la estación de trabajo X. Esta regla aprovecharía los principios descritos en la teoría de restricciones y obtendría el mayor beneficio monetario del cuello de botella.

Paso 1: Calcule el margen de utilidad/minuto de procesamiento en la estación de trabajo X, el cuello de botella:

	Producto A	Producto B	Producto C	Producto D
Margen de utilidad	$50.00	$58.00	$34.00	$19.00
Tiempo en el cuello de botella	10 minutos	20 minutos	5 minutos	0 minutos
Margen de utilidad por minuto	$5.00	$2.90	$6.80	No definido

Al ordenar las cifras de mayor a menor margen de utilidad/minuto en el cuello de botella, la secuencia de manufactura de estos productos es D, C, A, B, que es el inverso del orden anterior. El producto D se programa primero porque no consume ningún recurso en el cuello de botella.

Paso 2: Asigne los recursos V, W, X, Y y Z a los productos en el orden decidido en el paso 1. Satisfaga cada demanda hasta toparse con el recurso cuello de botella (la estación de trabajo X). Reste los minutos de los 2400 minutos disponibles para cada semana en cada etapa.

Centro de trabajo	Minutos al inicio	Minutos restantes después de fabricar 100 D	Minutos restantes después de fabricar 80 C	Minutos restantes después de fabricar 60 A	Sólo se pueden fabricar 70 B
V	2,400	2,400	2,400	600	600
W	2,400	900	500	500	500
X	2,400	2,400	2,000	1,400	0
Y	2,400	1,900	1,500	900	200
Z	2,400	1,400	1,000	1,000	1,000

La mejor mezcla de productos de acuerdo con este método basado en el cuello de botella es pues 60 A, 70 B, 80 C y 100 D.

Paso 3: Calcule la rentabilidad de la mezcla de productos seleccionada.

	Utilidades	
Ingresos	(60 × $75) + (70 × $72) + (80 × $45) + (100 × $38) =	$16,940
Materiales	(60 × $10) + (70 × $5) + (80 × $5) + (100 × $10) =	−$2,350
Mano de obra	(5 trabajadores) × (8 horas/día) × (5 días/semana) × ($18/hora) =	−$3,600
Gastos Generales	=	− $8,500
Utilidad		$2,490

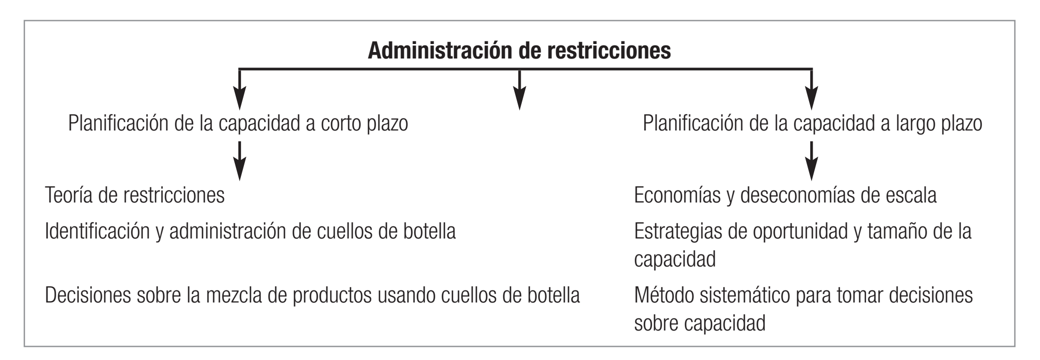
La fabricación de la mezcla de productos 60 A, 70 B, 80 C y 100 D produce utilidades de $2,490 por semana.

Punto de decisión Si se centra la atención en los recursos cuello de botella al aceptar los pedidos de los clientes y determinar la mezcla de productos, la secuencia en que se seleccionan los productos que se fabricarán se invierte de **B**, **A**, **C**, **D** a **D**, **C**, **A**, **B**. En consecuencia, la mezcla de productos cambia de 60 A, 80 B, 40 C y 100 D a 60 A, 70 B 80 C y 100 D. El incremento en las utilidades que reporta el uso del método de programación basado en el cuello de botella es de $930 ($2,490 – $1,560), o casi 60% más que con el método tradicional.

También podría utilizarse la programación lineal (véase el suplemento E) para encontrar la mejor mezcla de productos en el ejemplo 7.3. Sin embargo, hay que hacer notar que en el problema del ejemplo 7.3 no había tiempos de preparación significativos. De ser así, éstos tienen que tomarse en consideración no sólo para identificar el cuello de botella, sino también para determinar la mezcla de productos. El ejercicio de aprendizaje por experiencia de Min-Yo Garnment Company al final de este capítulo presenta una ilustración interesante de cómo se determina la mezcla de productos cuando los tiempos de preparación son significativos. Así, los principios en los que se basa la teoría de restricciones pueden explotarse para tomar mejores decisiones sobre la mezcla de productos más rentable para la empresa.

PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD PARA HORIZONTES TEMPORALES MÁS LARGOS

Los planes referentes a la capacidad se trazan en dos niveles, como lo ilustra el marco de administración de restricciones, que están estrechamente interrelacionados. Hasta el momento, se ha visto cómo administrar las restricciones y la capacidad que existen actualmente en el sistema; sin embargo, los planes de capacidad a corto plazo también se centran en el tamaño de la fuerza de trabajo, los presupuestos de tiempo extra, los inventarios y otros tipos de decisiones que se explorarán con mayor detalle en capítulos posteriores sobre la operación de las cadenas de valor. En contraste, los planes de capacidad a largo plazo contemplan inversiones en nuevas instalaciones y equipo en el nivel organizacional y requieren la participación y aprobación de la alta dirección porque sus efectos no son fácilmente reversibles. Estos planes se extienden por lo menos dos años hacia el futuro, pero, en ocasiones, un proyecto de construcción puede requerir mucho más tiempo y, como resultado, la planificación abarca horizontes de tiempo más largos.



La planificación a largo plazo es fundamental para el éxito de una organización. La capacidad excesiva puede ser tan terrible como la capacidad insuficiente. A menudo, industrias enteras fluctúan con el tiempo entre demasiada y muy poca capacidad, como se ha evidenciado en las industrias de las líneas de aviación y los cruceros en los últimos 20 años. Al elegir una estrategia de capacidad, los gerentes deben analizar preguntas como las siguientes: ¿Cuánto “colchón” se necesita para manejar la demanda incierta y variable? ¿Debemos expandir la capacidad anticipándonos a la demanda, o es mejor esperar hasta que esta última se perfile con mayor certeza? Se requiere un método sistemático para contestar estas y otras preguntas similares, y para formular una estrategia de capacidad que sea apropiada para cada situación.

ECONOMÍAS DE ESCALA

Un concepto que se conoce como **economías de escala** expresa que el costo unitario promedio de un bien o servicio puede reducirse cuando su tasa de producción se incrementa. La Práctica administrativa 7.3 ilustra la importancia de las economías de escala para la industria de la aviación en China y Sudamérica, donde las líneas aéreas han obtenido resultados diferentes en estas dos

economías de escala
Concepto que expresa que el costo unitario promedio de un bien o servicio puede reducirse cuando su tasa de producción se incrementa.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 7.3 ECONOMÍAS DE ESCALA EN ACCIÓN

China Southern Airlines

En vista de la feroz batalla por la participación en el mercado de la aviación comercial de China, China Southern Airlines tiene un poderoso objetivo: ser la aerolínea más fuerte de China. La clave para alcanzar este objetivo, según el presidente de la compañía, Wang Changshun, radica en aprovechar las economías de escala. Después de que China instituyó las reformas comerciales y abrió sus puertas al comercio a principios de la década de 1980, la industria de la aviación civil de China empezó a florecer. La industria estaba dominada por varias aerolíneas menores, agobiadas por los altos costos de operación debido a su tamaño pequeño. A pesar del creciente tráfico de pasajeros, la rentabilidad era baja y el servicio se deterioraba. Sin embargo, una aerolínea, China Southern Airlines (CSA) implementó una estrategia para aumentar sus economías de escala. En 1998, CSA compró Guizhou Airlines y la convirtió en una base de aviación en el suroeste de China. En 2000, la fusión con Zhong Yuan Airlines produjo un aumento considerable en la participación de mercado de CSA en Zhengzhou a más de 64%. En ese mismo año, CSA empezó a obtener utilidades. Además, sus activos totales se duplicaron y el número de pasajeros transportados aumentó en 26%. En 2003, CSA adquirió China Northern Airlines y China Xinjiang Airlines. También firmó un "memorando de acuerdo" el 8 de agosto de 2004, con una alianza global de compañías de aviación de todo el mundo, llamada SKY. Entre los socios de SKY figuran Delta Air Lines, Dragonair, KLM, Japan Air System y Vietnam Airlines.

La reestructuración y adquisiciones ayudaron a CSA a reducir sus costos de operación y a concentrar sus campañas de marketing en las rutas principales. Como resultado, la compañía dio servicio a 40 millones de pasajeros en 2004, convirtiéndose en uno de los principales transportistas de pasajeros en el mundo. CSA opera ahora 540 rutas, que incluyen vuelos a unos 435 destinos nacionales. Las rutas internacionales de la compañía abarcan sobre todo el sureste de Asia, pero la aerolínea también vuela a Los Ángeles, Ámsterdam y Osaka. Entre todas las aerolíneas chinas, cuenta con la flotilla más grande y el mayor número de bases, las redes nacionales más extensas y las frecuencias de vuelo más altas. Famosa por los excelentes servicios que brinda a sus pasajeros, la aerolínea ganó el Premio Diamante Cinco Estrellas por los servicios en vuelo y ha sido reconocida como la mejor línea aérea de China por la revista *TTG Asia*.



Un jet de China Southern Airlines despega del Aeropuerto Internacional de Chitose, Hokkaido en Japón. La ampliación de la capacidad ayudó a CSA a obtener economías de escala y a conseguir una mayor participación en el mercado nacional de China.

Aerolíneas sudamericanas

A mediados de la década de 1990, muchas de las aerolíneas de la región de América Latina ampliaron su capacidad porque esperaban que la demanda aumentara. En cambio, ésta se redujo tras la crisis de devaluación en Brasil a principios de 1999. Al mismo tiempo, las aerolíneas enfrentaban una mayor competencia de las compañías de aviación estadounidenses, que disfrutan de economías de escala más amplias. En los vuelos nacionales en Brasil, durante el primer trimestre de 2000, se registró sólo 58% de asientos reservados, muy por debajo del 65% que se creía necesario para alcanzar el punto de equilibrio. Sin tener el volumen suficiente para repartir los costos fijos, los resultados fueron inevitables.

Una de esas aerolíneas, Aerolíneas Argentinas, redujo radicalmente el número de vuelos nacionales e internacionales que ofrecía. Después de reestructurar sus operaciones, Aerolíneas Argentinas decidió, a mediados de 2002, cubrir de nuevo algunas de las rutas internacionales que había abandonado. Mientras tanto, Vasp, una de las cuatro principales aerolíneas de Brasil, anunció que suspendería sus vuelos a América del Norte y Europa luego de que Boeing exigió que le devolviera algunos aviones porque Vasp no cumplía con los pagos de arrendamiento de las aeronaves.

TAM y Transbrasil, dos de las grandes aerolíneas de Brasil, analizaron la posibilidad de establecer una "sociedad de operación" para reducir el traslapo entre sus vuelos, medida que muchos pensaron que conduciría a la larga a una fusión, recortes y ahorros en costos para las dos compañías. Por desgracia para Transbrasil, el acuerdo no llegó a concretarse y la compañía dejó de operar en diciembre de 2001. Se declaró en quiebra dos años después. Aunque TAM ha sido rentable, sigue siendo una aerolínea nacional, incapaz de lograr asociarse con otras compañías para aumentar sus economías de escala. En 2005, el plan de TAM para fusionarse con Varig (con la que TAM había compartido anteriormente 60% de sus vuelos) se vino abajo. El presidente del Banco de Desarrollo de Brasil dejó entrever que en el mercado brasileño sólo había lugar para una sola aerolínea local grande y puso como ejemplo a Canadá y México, donde en cada caso, dos grandes aerolíneas locales se fusionaron. Con el debilitamiento de la economía regional de América del Sur, una consolidación de la industria beneficiaría a las aerolíneas que sobreviven, debido a los altos volúmenes asociados con las economías de escala fuertes.

Fuentes: "China Southern Airlines President Addresses IATA Confab", *Business Wire,* 7 de junio de 2002); http://en.wikipedia.org/wiki/China_Southern_Airlines, junio de 2005; www.hoovers.com, junio de 2005; "Rival Operations", *Wall Street Journal,* 6 de junio de 1990; "South American Airlines", *The Economist,* 6 de mayo de 2000; "Transbrasil Will Probably Lose Operating Certificate", *Aviation Daily,* 12 de octubre de 2002; www.tamairlines.com, junio de 2005.

regiones del mundo. Cuatro razones principales explican por qué las economías de escala hacen que los costos disminuyan cuando la producción aumenta: (1) los costos fijos se distribuyen entre más unidades; (2) los costos de construcción se reducen; (3) los costos de los materiales comprados disminuye, y (4) se encuentran ventajas en los procesos.

Distribución de los costos fijos A corto plazo, ciertos costos no varían cuando cambia la tasa de producción. Entre estos costos fijos figuran los de calefacción, el servicio de la deuda y los salarios de la gerencia. La depreciación de la planta y el equipo con los que ya cuenta la empresa también representa un costo fijo en términos de contabilidad. Cuando la tasa de producción se incrementa y, por lo tanto, también aumenta la tasa de utilización de una instalación, el costo unitario promedio se reduce porque los costos fijos se distribuyen entre más unidades.
Reducción de los costos de construcción Ciertas actividades y gastos son necesarios para construir instalaciones pequeñas y grandes por igual: permisos de construcción, honorarios de arquitectos, alquiler del equipo de construcción y otros similares. Cuando el tamaño de la instalación se duplica, por lo general no se duplican los costos de construcción.
Disminución de los costos de los materiales comprados Los altos volúmenes suelen reducir los costos de los servicios y materiales comprados. Con esos altos volúmenes, el comprador está en una posición más fuerte para negociar y tiene la oportunidad de aprovechar descuentos por cantidad. Los comerciantes minoristas, como Wal-Mart y Toys "R" Us, obtienen economías de escala considerables porque sus tiendas nacionales e internacionales compran y venden volúmenes enormes de cada uno de sus artículos.
Descubrimiento de otras ventajas en los procesos La producción en grandes volúmenes ofrece muchas oportunidades para reducir los costos. Con una tasa de producción más alta, el proceso cambia y se convierte en un proceso lineal, en el que los recursos se destinan a productos individuales. Es posible que las compañías puedan justificar los gastos que implica la adquisición de una tecnología más eficiente o de equipo más especializado. Algunas de las ventajas de dedicar recursos a ciertos productos o servicios en lo individual son las siguientes: acelerar el efecto de aprendizaje, disminuir los inventarios, mejorar el diseño de los procesos y puestos de trabajo y reducir el número de cambios en el sistema para pasar de un producto a otro.

DESECONOMÍAS DE ESCALA

En un momento dado, las dimensiones de una instalación pueden llegar a ser tan grandes que se empiezan a generar **deseconomías de escala**; es decir, el costo promedio por unidad se eleva a medida que se incrementa el tamaño de la instalación. La razón de esto es que el tamaño excesivo puede traer consigo complejidad, pérdida de enfoque e ineficiencias que elevan el costo unitario promedio de un producto o servicio. Demasiados niveles de empleados y burocracia ocasionan que la gerencia pierda el contacto con los empleados y los clientes. La organización se vuelve menos ágil y pierde la flexibilidad necesaria para responder a los cambios de la demanda. Muchas compañías grandes llegan a estar tan absortas en el análisis y la planificación que realizan menos innovaciones y evitan los riesgos. El resultado es que, en numerosas industrias, las compañías pequeñas superan el desempeño de las corporaciones gigantescas.

deseconomías de escala
Se presentan cuando el costo promedio por unidad se eleva a medida que se incrementa el tamaño de la instalación.

La figura 7.3 ilustra la transición de las economías de escala a las deseconomías de escala. El hospital de 500 camas obtiene economías de escala porque su costo unitario promedio en su *mejor nivel de operación*, representado por el punto en el centro de la curva de en medio, es menor que el costo unitario promedio del hospital de 250 camas. Sin embargo, una expansión adicional para convertirlo en un hospital de 750 camas produce costos unitarios promedio más altos y deseconomías de escala. Una de las razones por las que el hospital de 500 camas disfruta de mayores economías de escala que el de 250 camas es que el costo requerido para su construcción y equipamiento es menor que el doble del costo requerido para el hospital más pequeño. El hospital de 750 camas disfrutaría de ahorros similares. Sus costos unitarios promedio más altos sólo pueden explicarse por la presencia de deseconomías de escala, las que son mayores que los ahorros registrados en los costos de construcción.

La figura 7.3 no significa que el tamaño óptimo para todos los hospitales sea de 500 camas. El tamaño óptimo dependerá del número de pacientes que cada uno de los hospitales tenga que atender por semana. Por una parte, los servicios de un hospital en una comunidad pequeña tendrían costos más bajos si se eligiera una capacidad de 250 camas, en lugar de 500. Por otra parte, suponiendo la misma estructura de costos, una comunidad grande será atendida con más eficiencia por dos hospitales de 500 camas, que por una sola instalación de 1000 camas.

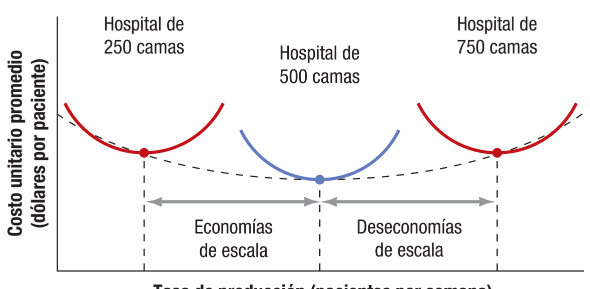


FIGURA 7.3
Economías y deseconomías de escala

ESTRATEGIAS PARA DETERMINAR LA OPORTUNIDAD Y EL TAMAÑO DE LA CAPACIDAD

Antes de tomar decisiones sobre la capacidad, los gerentes de operaciones tienen que examinar tres dimensiones de la estrategia de capacidad: (1) el tamaño de los colchones de capacidad; (2) la oportunidad y la magnitud de la expansión, y (3) la vinculación de la capacidad de los procesos con otras decisiones de operación.

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS COLCHONES DE CAPACIDAD

Las tasas de utilización promedio no deben acercarse demasiado a 100% en el largo plazo, aunque esto puede ocurrir de vez en cuando en los procesos cuello de botella en el corto plazo. En esos casos, la meta de la TOC es maximizar la utilización del cuello de botella. Si la demanda sigue aumentando con el tiempo, habrá que incrementar la capacidad a largo plazo en el cuello de botella, así como proporcionar algún tipo de protección contra la incertidumbre. Cuando las tasas de utilización promedio se aproximan a 100%, por lo general es señal de que es necesario incrementar la capacidad o disminuir la aceptación de pedidos a fin de evitar un descenso de la productividad. El **colchón de capacidad** es la cantidad de capacidad de reserva que se usa en un proceso para hacer frente a los incrementos repentinos de la demanda o las pérdidas temporales de la capacidad de producción; es una medida de la cantidad por la cual la utilización promedio (en términos de la capacidad total) es inferior a 100%. Específicamente,

colchón de capacidad

La cantidad de capacidad de reserva que se usa en un proceso para hacer frente a los incrementos repentinos de la demanda o las pérdidas temporales de la capacidad de producción; es una medida de la cantidad por la cual la utilización promedio (en términos de la capacidad total) es inferior a 100%.

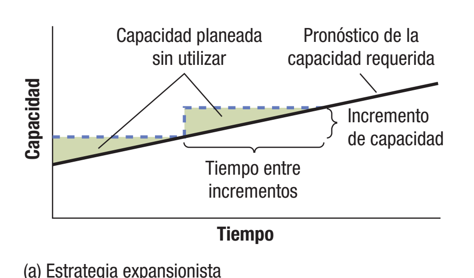
colchón de capacidad = 100% – tasa de utilización (%)

El tamaño apropiado del colchón varía para cada industria. En la industria del papel, que es intensiva en términos de capital y cuyas máquinas llegan a costar cientos de millones de dólares cada una, resultan preferibles los colchones muy por debajo de 10%. La industria hotelera, menos intensiva en capital, alcanza el punto de equilibrio con una utilización de entre 60 y 70% (un colchón de 40 a 30%), y empieza a tener problemas de atención a los clientes cuando el colchón se reduce a 20%. En la industria de los cruceros, más intensiva en capital, a la que pertenece, por ejemplo, la empresa Carnival Cruise Line, se prefieren colchones muy pequeños de hasta 5%. Los colchones grandes son especialmente importantes en los procesos de mostrador, en los que los clientes esperan tiempos de entrega rápidos.

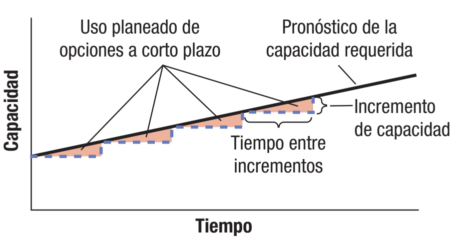
Las empresas han observado que los colchones grandes resultan apropiados cuando la demanda varía. En ciertas industrias de servicios (por ejemplo, la de abarrotes), la demanda en algunos días de la semana es previsiblemente más alta que en otros, e incluso los cambios de una hora a hora son típicos. Los tiempos de espera muy prolongados no son aceptables porque los clientes se impacientan cuando tienen que esperar algo más que unos cuantos minutos en la fila de salida para pagar sus compras en un supermercado. Para ofrecer un servicio rápido al cliente, es necesario que los supermercados mantengan un colchón de capacidad suficientemente grande para permitirles manejar la demanda máxima. También se requieren colchones grandes cuando la demanda futura es incierta, sobre todo si la flexibilidad de los recursos es baja. Las simulaciones y el análisis de las filas de espera (véase el suplemento B, “Simulación”, y el suplemento C, “Filas de espera”) pueden ayudar a los gerentes a prever mejor la relación entre el colchón de capacidad y la atención al cliente.

Otro tipo de incertidumbre en torno a la demanda se presenta cuando la mezcla de productos cambia. A pesar de que la demanda total podría permanecer estable, es factible que la carga cambie imprevisiblemente de un centro de trabajo a otro en respuesta a los cambios de la mezcla. Los colchones de capacidad grandes también son útiles cuando hay incertidumbre en la oferta. Con frecuencia, la capacidad registra incrementos considerables porque es necesario comprar una máquina completa, incluso si sólo se requiere una fracción de su capacidad disponible, lo que a su vez crea un colchón grande. Las empresas también necesitan construir una capacidad excedente a fin de compensar el ausentismo de los empleados, las vacaciones, los días feriados y otras causas de retrasos. Si una empresa tiene costos elevados de tiempo extra y con frecuencia necesita depender de subcontratistas, tal vez necesite incrementar sus colchones de capacidad.

El argumento a favor de los colchones pequeños es sencillo: la capacidad que no se utiliza cuesta dinero. Para las compañías intensivas en términos de capital, minimizar el colchón de capacidad es una necesidad vital. Algunos estudios indican que las empresas con alta intensidad de capital obtienen un bajo rendimiento de la inversión cuando el colchón de capacidad es alto. Sin embargo, esta fuerte correlación no existe en el caso de empresas intensivas en términos de mano de obra. Su rendimiento de la inversión es más o menos el mismo porque la inversión menor en equipo hace que un alto grado de utilización resulte menos crítico. Los colchones pequeños tienen otras ventajas. En ocasiones, cuando se implementa un colchón pequeño, la empresa puede descubrir ineficiencias que eran difíciles de detectar cuando los colchones eran más grandes. Dichas ineficiencias podrían deberse a ausentismo de los empleados o a problemas provocados por proveedores informales). Una vez que los gerentes y trabajadores han identificado ese tipo de problemas, frecuentemente encuentran la forma de corregirlos.



(a) Estrategia expansionista



(b) Estrategia de esperar a ver qué pasa

FIGURA 7.4
Dos estrategias de capacidad

OPORTUNIDAD Y MAGNITUD DE LA EXPANSIÓN

La segunda cuestión de la estrategia de capacidad se refiere a cuándo expandirla y en qué medida. La figura 7.4 ilustra dos estrategias extremas: la *estrategia expansionista*, que supone saltos grandes e infrecuentes de la capacidad, y la *estrategia de esperar a ver qué pasa*, que implica saltos más pequeños y frecuentes.

La oportunidad y magnitud de la expansión están relacionadas entre sí; es decir, si la demanda crece y el tiempo entre dos incrementos aumenta, la magnitud de los incrementos también debe aumentar. La estrategia expansionista, que se mantiene adelante de la demanda, minimiza la posibilidad de perder ventas por capacidad insuficiente. La estrategia de esperar a ver qué pasa se rezaga con respecto a la demanda y depende de opciones a corto plazo, como el uso de tiempo extra, trabajadores eventuales, subcontrataciones, agotar el inventario y aplazar el mantenimiento preventivo del equipo, para compensar cualquier déficit.

Varios factores favorecen la estrategia expansionista. Por lo general, la expansión genera economías de escala y una tasa de aprendizaje más rápida, lo cual ayuda a las empresas a reducir sus costos y competir en precios. Esta estrategia puede incrementar la participación de mercado de la compañía o funcionar como una forma de marketing preventivo. Al realizar una gran expansión de su capacidad o anunciar que la misma es inminente, la empresa se adelanta a la expansión de otras compañías. Éstas tendrán que sacrificar una parte de su participación de mercado o arriesgarse a abrumar a la industria con una capacidad excesiva. Sin embargo, para tener éxito, la empresa que se adelanta a las demás debe gozar de credibilidad para convencer a la competencia de que llevará a cabo sus planes (y tendrá que enviar señales acerca de dichos planes antes de que la competencia tenga tiempo para actuar).

La estrategia conservadora de esperar a ver qué pasa consiste en expandirse en incrementos pequeños, como sucede cuando se decide renovar las instalaciones actuales en lugar de construir otras nuevas. Puesto que la estrategia de esperar a ver qué pasa es posterior a la demanda, reduce los riesgos de las expansiones excesivas basadas en pronósticos de demanda demasiado optimistas, tecnología obsoleta o suposiciones inexactas acerca de la competencia.

Sin embargo, esta estrategia tiene otros riesgos, como que algún competidor se adelante o ser incapaz de responder si la demanda es inesperadamente alta. Los críticos afirman que la estrategia de esperar a ver qué pasa es una estrategia a corto plazo típica de ciertos estilos de administración estadounidenses. Los gerentes que eligen la vía rápida del progreso corporativo tienden a asumir menos riesgos. Logran ascensos tratando de no cometer grandes errores y maximizando las utilidades y el rendimiento de la inversión a corto plazo. La estrategia de esperar a ver qué pasa se ajusta a esta perspectiva a corto plazo, pero puede mermar la participación de mercado en el largo plazo.

La gerencia tiene la posibilidad de escoger una de estas dos estrategias o alguna de las muchas que se sitúan entre ambos extremos. Con estrategias ubicadas en la porción central más moderada, las compañías pueden expandirse más frecuentemente (en menor escala) que con la estrategia expansionista, sin quedar a la zaga de la demanda como sucede con la estrategia de esperar a ver qué pasa. Una estrategia intermedia podría ser la de *emular al líder* y expandirse cuando otros lo hacen. Si los otros cometen un error y se expanden demasiado, también lo cometerá el emulador, pero todos compartirán la zozobra provocada por el exceso de capacidad.

VINCULACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS PROCESOS CON OTRAS DECISIONES

Las decisiones sobre capacidad deben estar estrechamente vinculadas a los procesos y cadenas de valor de toda la organización. Cuando los gerentes toman decisiones acerca del diseño de los procesos, la determinación del grado de flexibilidad de los recursos e inventario, y la localización de las instalaciones, deben considerar el impacto en los colchones de capacidad. A la larga, estos últimos protegen a la organización contra la incertidumbre, lo mismo que la flexibilidad de los recursos, los inventarios y los tiempos más prolongados de entrega al cliente. Si se hace un cambio en cualquier área de decisión, es posible que el colchón de capacidad tenga que modificarse para compensar. Por ejemplo, los colchones de capacidad de un proceso pueden reducirse si se pone menos énfasis en las entregas rápidas (*prioridades competitivas*), si las pérdidas de rendimiento

(*calidad*) disminuyen, o si la inversión en equipo intensivo en capital o la flexibilidad de los trabajadores aumentan (*diseño de procesos*). Los colchones de capacidad también pueden reducirse si la planificación de las ventas y operaciones se usa más para uniformar la tasa de producción; por ejemplo, si la compañía está dispuesta a subir los precios cuando tiene poco inventario y a bajar los precios cuando tiene mucho inventario.

UN MÉTODO SISTEMÁTICO PARA LAS DECISIONES A LARGO PLAZO SOBRE CAPACIDAD

La TOC prescribe cómo administrar mejor la capacidad existente al nivel del proceso; sin embargo, es preciso tomar decisiones a largo plazo para planificar la capacidad de cada proceso. Típicamente, dicha planificación incluye cuántas máquinas deben comprarse para un departamento determinado, o cuántos trabajadores deben asignarse a un proceso. Una vez ordenadas, puede pasar hasta un año, o más tiempo en algunos casos, para que las máquinas se entreguen. De ahí que se requiera un método sistemático para planificar las decisiones a largo plazo sobre capacidad, mientras que la empresa invoca los principios de la TOC para administrar las operaciones cotidianas de manera continua.

Aun cuando cada situación es diferente, un procedimiento de cuatro pasos generalmente ayuda a los gerentes a tomar buenas decisiones sobre capacidad. (Para describir este procedimiento, se supondrá que la administración ya realizó los pasos preliminares de determinar la capacidad existente del proceso y evaluar si el actual colchón de capacidad es apropiado).

1. Estimar las necesidades futuras de capacidad.
2. Identificar las brechas de capacidad, comparando las necesidades de capacidad con la capacidad disponible.
3. Trazar planes alternativos para cerrar esas brechas.
4. Evaluar cada alternativa, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, y tomar la decisión final.

PASO 1: ESTIMAR LAS NECESIDADES DE CAPACIDAD

necesidad de capacidad
Lo que debe ser la capacidad del proceso en algún periodo futuro para satisfacer la demanda de los clientes (externos o internos), dado el colchón de capacidad deseado para la empresa.

horizonte de planificación
El conjunto de periodos consecutivos considerados para efectos de planificación.

La **necesidad de capacidad** es lo que debe ser la capacidad del proceso en algún periodo futuro para satisfacer la demanda de los clientes (externos o internos), dado el colchón de capacidad deseado para la empresa. Las necesidades grandes son prácticas para procesos o estaciones de trabajo que, en potencia, podrían convertirse en cuellos de botella en el futuro, y la gerencia puede incluso planificar colchones más grandes de lo normal.

Las necesidades de capacidad se expresan en una de dos maneras: con una medición de producción o con una medición de insumos. De un modo u otro, la base para la estimación son los pronósticos de demanda, productividad, competencia y cambio tecnológico. Normalmente, es necesario hacer estos pronósticos para varios periodos en un **horizonte de planificación,** que es el conjunto de periodos consecutivos considerados para efectos de planificación. Los planes de capacidad a largo plazo tienen que tomar en consideración más tiempo futuro (quizá toda una década) que los planes a corto plazo. Desafortunadamente, cuanto más lejos se mira, tanto mayor es la probabilidad de que el pronóstico sea inexacto.

Uso de mediciones de producción La forma más sencilla de expresar las necesidades de capacidad es como una tasa de producción. Como se explicó anteriormente, las mediciones de producción son apropiadas para procesos de alto volumen que tienen poca variedad de productos o divergencia del proceso. Aquí, los pronósticos de demanda para los años venideros se usan como base para extrapolar las necesidades de capacidad hacia el futuro. Si se espera que la demanda se duplique en los próximos cinco años (y el actual colchón de capacidad es apropiado), las necesidades de capacidad también aumentarán al doble. Por ejemplo, si las necesidades actuales de capacidad de un proceso son 50 clientes diarios, las necesidades dentro de cinco años serán de 100 clientes diarios. Si el colchón de capacidad deseado es de 20%, la gerencia debe planificar la capacidad suficiente para atender a $[100/(1 - 0.2)] = 125$ clientes dentro de cinco años.

Uso de mediciones de insumos Las mediciones de producción pueden ser insuficientes en las siguientes situaciones:

- La variedad de productos y la divergencia del proceso son altas.
- La mezcla de productos o servicios está cambiando.
- Se espera que los índices de productividad cambien.
- Se esperan efectos de aprendizaje considerables.

En tales casos, es más apropiado calcular las necesidades de capacidad usando una medición de los insumos, como el número de empleados, máquinas, computadoras o camiones. El uso de una medición de insumos para la necesidad de capacidad reúne los pronósticos de la demanda, los estimados del tiempo de procesamiento y el colchón de capacidad deseado. Cuando sólo se procesa un servicio o producto en una operación y el periodo es un año específico, la necesidad de capacidad, M, es:

$$\text{Necesidad de capacidad} = \frac{\text{Horas de procesamiento requeridas para la demanda del año}}{\text{Horas disponibles de una sola unidad de capacidad (como un empleado o máquina) por año, después de deducir el colchón deseado}}$$

$$M = \frac{Dp}{N[1-(C/100)]}$$

donde

D = pronóstico de demanda para el año (número de clientes atendidos o unidades de producto)
p = tiempo de procesamiento (en horas por cliente atendido o unidad producida)
N = número total de horas por año, durante las cuales funciona el proceso
C = colchón de capacidad deseado (expresado como porcentaje)

M es el número de unidades requeridas del insumo y debe calcularse para cada año en el horizonte de tiempo. El tiempo de procesamiento, p, depende del proceso y los métodos seleccionados para realizar el trabajo. El denominador es el número total de horas, N, disponible para el año de una unidad de capacidad (un empleado o máquina), multiplicado por una proporción que toma en cuenta el colchón de capacidad deseado, C. La proporción es simplemente $1.0 - C$, donde C se convierte de un porcentaje a una proporción, dividiéndolo entre 100. Por ejemplo, un colchón de capacidad de 20% significa que $1.0 - C$ es igual a 0.80.

Si se van a fabricar múltiples productos, se necesitará tiempo adicional de preparación. El tiempo de preparación total se calcula dividiendo el pronóstico del número de unidades por año, D, entre el número de unidades producidas en cada lote (el número de unidades procesadas entre una preparación y otra), con lo cual se obtiene el número de operaciones de preparación por año, y multiplicándolo después por el tiempo que requiere cada preparación. Por ejemplo, si la demanda anual es de 1200 unidades y el tamaño promedio del lote es 100, habrá 1200/100 = 12 operaciones de preparación por año. Tomando en cuenta tanto el tiempo de procesamiento como el tiempo de preparación para múltiples servicios (productos), se obtiene:

$$\text{Necesidad de capacidad} = \frac{\text{Horas de procesamiento } y \text{ preparación requeridas para la demanda del año, sumando todos los servicios o productos}}{\text{Horas disponibles de una sola unidad de capacidad por año, después de deducir el colchón deseado}}$$

$$M = \frac{[Dp+(D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \cdots + [Dp+(D/Q)s]_{\text{producto } n}}{N[1-(C/100)]}$$

donde

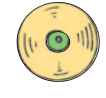
Q = número de unidades en cada lote
s = tiempo de preparación (en horas) por lote

Qué hacer cuando M no es un número entero depende de cada situación. Por ejemplo, es imposible comprar una fracción de máquina. En este caso, se debe redondear la parte fraccional, a menos que sea más rentable usar opciones a corto plazo, como tiempo extra o quedarse sin inventario para cubrir los déficit. Si, en cambio, la unidad de capacidad es el número de empleados en un proceso, puede obtenerse un valor de 23.6 usando sólo 23 empleados y una cantidad moderada de tiempo extra (equivalente a tener 60% de otro trabajador de tiempo completo). Aquí, el valor fraccional debe conservarse como información útil.

Estimación de las necesidades de capacidad cuando se usan mediciones de insumos

EJEMPLO **7.4**

Un centro de copiado, establecido en un edificio de oficinas, elabora informes encuadernados para dos clientes. El centro produce múltiples copias (el tamaño del lote) de cada informe. El tiempo de procesamiento para obtener, ordenar y encuadernar cada copia depende del número de páginas, entre otros factores. El centro funciona 250 días al año, con un turno de ocho horas. La gerencia considera que un colchón de capacidad de 15% (mayor que el margen de tolerancia incorporado a los estándares de tiempo) resulta mejor. En la actualidad, el centro cuenta con tres máquinas copiadoras. Tomando como base la información de la siguiente tabla, determine cuántas máquinas se necesitan en ese centro de copiado.



TUTOR 7.1

El tutor 7.1 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el cálculo de las necesidades de capacidad cuando se usan mediciones de insumos.

Concepto	Cliente X	Cliente Y
Pronóstico de demanda anual (copias)	2,000	6,000
Tiempo estándar de procesamiento (copias/hora)	0.5	0.7
Tamaño promedio del lote (copias por informe)	20	30
Tiempo estándar de preparación (horas)	0.25	0.40

SOLUCIÓN

$$M = \frac{[Dp+(D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \cdots + [Dp+(D/Q)s]_{\text{producto } n}}{N[1-(C/100)]}$$

$$= \frac{[2{,}000(0.5)+(2{,}000/20)(0.25)]_{\text{cliente X}} + [6{,}000(0.7)+(6{,}000/30)(0.40)]_{\text{cliente Y}}}{[(250 \text{ día/año})(1 \text{ turno/día})(8 \text{ horas/turno})][1.0-(15/100)]}$$

$$= \frac{5{,}305}{1{,}700} = 3.12$$

Redondeando el resultado al siguiente número entero, encontramos que se necesitan cuatro máquinas.

Punto de decisión La capacidad del centro de copiado está llegando al límite y ya no tiene el colchón de capacidad deseado de 15%. Como la gerencia no quiere que la atención a los clientes se deteriore, decidió usar tiempo extra como solución a corto plazo para manejar los pedidos atrasados. Si la demanda continúa al nivel actual o crece, se adquirirá la cuarta máquina.

PASO 2: IDENTIFICAR LAS BRECHAS DE CAPACIDAD

brecha de capacidad
Diferencia positiva o negativa entre la demanda proyectada y la capacidad actual.

Una **brecha de capacidad** es cualquier diferencia (positiva o negativa) entre la demanda proyectada y la capacidad actual. Para identificar las brechas es necesario emplear la medida de capacidad apropiada. Las complicaciones comienzan cuando intervienen múltiples operaciones y varios insumos de recursos. Expandir la capacidad en algunas operaciones puede incrementar la capacidad general. Sin embargo, si una operación es un cuello de botella, la capacidad solo podrá expandirse si la capacidad de esa operación cuello de botella se expande.

PASO 3: GENERAR ALTERNATIVAS

caso base
El acto de no hacer nada y perder los pedidos de la demanda que rebase la capacidad actual.

El paso siguiente es trazar planes alternativos para hacer frente a las brechas proyectadas. Una alternativa, que se conoce como **caso base**, consiste en no hacer nada y simplemente perder los pedidos de la demanda que rebase la capacidad actual. Otras alternativas son diversas opciones de oportunidad y tamaño para agregar nueva capacidad, como la estrategia expansionista y la de esperar a ver qué pasa, que se ilustran en la figura 7.4. Otras posibilidades son: expandirse a un lugar diferente o recurrir a opciones a corto plazo, como el uso de tiempo extra, trabajadores temporales y subcontratación.

PASO 4: EVALUAR LAS ALTERNATIVAS

En este paso final, el gerente evalúa cada alternativa, tanto en términos cuantitativos como cuantitativos.

Intereses cualitativos En términos cualitativos, el gerente estudia cómo encaja cada alternativa en la estrategia general de capacidad y otros aspectos de la empresa que no están incluidos en el análisis financiero. La incertidumbre en torno a la demanda deberá ser motivo de interés particular, así como la reacción de la competencia, el cambio tecnológico y la estimación de costos. Algunos de esos factores no pueden cuantificarse y es necesario evaluarlos con base en el buen juicio y experiencia. Otros sí son cuantificables, y el gerente puede analizar cada alternativa usando diferentes suposiciones acerca del futuro. Un conjunto de suposiciones podría representar el peor caso posible, es decir, cuando la demanda es escasa, la competencia se intensifica y los costos de construcción son más altos de lo esperado. Otro conjunto de suposiciones podría corresponder a la visión más optimista del futuro. Este tipo de análisis condicional permite al gerente formarse una idea de las consecuencias de cada alternativa antes de tomar la decisión final.

flujo de efectivo
La diferencia entre los flujos de fondos que entran y salen de una organización durante un periodo, incluyendo ingresos, costos y modificaciones en los activos y pasivos.

Intereses cuantitativos Cuantitativamente, el gerente estima el cambio que produciría en los flujos de efectivo cada una de las alternativas en el horizonte de tiempo pronosticado, y lo compara con el caso base. Se llama **flujo de efectivo** a la diferencia entre los flujos de fondos que entran y salen de una organización durante un periodo, incluyendo ingresos, costos y modificaciones en los activos y pasivos. En este caso, al gerente sólo le interesa calcular los flujos de efectivo que sean atribuibles al proyecto.

EJEMPLO 7.5 Evaluación de las alternativas

Los negocios del Grandmother's Chicken Restaurant están en auge. La propietaria espera servir un total de 80,000 comidas en el transcurso de este año. Aun cuando la cocina funciona al 100% de su capacidad, el comedor puede dar cabida a 105,000 comensales al año. La demanda pronosticada para los cinco años próximos es de 90,000 comidas durante el año entrante, seguidas por un aumento de 10,000 comidas en cada uno de los años subsiguientes. Una posible alternativa sería ampliar ahora tanto la cocina como el comedor para expandir la capacidad de ambos a 130,000 comidas

al año. La inversión inicial ascendería a $200,000 y tendría que hacerse al final de este año (el año 0). El precio promedio por cada comida es de $10, y el margen de utilidad antes de impuestos es de 20%. La cifra de 20% se obtuvo al determinar que, de los $10 que cuesta cada comida, $6 cubren los costos variables y $2 se destinan a pagar los costos fijos (distintos de la depreciación). Los $2 restantes son la utilidad antes de impuestos.

¿Cómo son los flujos de efectivo de este proyecto (antes de impuestos) previstos para los próximos cinco años en comparación con los del caso base de no hacer nada?

SOLUCIÓN

Recuerde que el caso base (es decir, no hacer nada) se traduce en la pérdida de todas las ventas potenciales después de 80,000 comidas. Con la nueva capacidad, el flujo de efectivo sería igual al número de comidas extra que el restaurante podría servir con una capacidad de 130,000 comidas, multiplicado por una utilidad de $2 por comida. En el año 0, el único flujo de efectivo es –$200,000 correspondiente a la inversión inicial. En el año 1, la demanda de 90,000 comidas podrá satisfacerse por completo con la capacidad ampliada, por lo que el flujo de efectivo incremental es (90,000 – 80,000)($2) = $20,000. Las cifras correspondientes a los siguientes años se presentan a continuación:

Año 2: Demanda = 100,000; flujo de efectivo = (100,000 – 80,000)$2 = $40,000
Año 3: Demanda = 110,000; flujo de efectivo = (110,000 – 80,000)$2 = $60,000
Año 4: Demanda = 120,000; flujo de efectivo = (120,000 – 80,000)$2 = $80,000
Año 5: Demanda = 130,000; flujo de efectivo = (130,000 – 80,000)$2 = $100,000



TUTOR 7.2

El tutor 7.2 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar la proyección de los flujos de efectivo para efectos de las decisiones sobre capacidad.

Si la nueva capacidad fuera menor que la demanda esperada en cualquier año, habría que restar la capacidad del caso base de la nueva capacidad (en lugar de la demanda). La propietaria debe tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo y aplicar técnicas como los métodos del valor presente neto o la tasa interna de rendimiento (véase el suplemento J, "Análisis financiero", en el CD-ROM del estudiante, en inglés). Por ejemplo, el valor presente neto (NPV, del inglés net present value) de este proyecto a una tasa de descuento de 10% se calcula a continuación y es igual a $13,051.76.

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= -200{,}000 + [(20{,}000/1.1)] + [40{,}000/(1.1)^2] + [60{,}000/(1.1)^3] + [80{,}000/(1.1)^4] + [100{,}000/(1.1)^5] \\ &= -\$200{,}000 + \$18{,}181.82 + \$33{,}057.85 + \$45{,}078.89 + \$54{,}641.07 + \$62{,}092.13 \\ &= \$13{,}051.76 \end{aligned}$$

Punto de decisión Antes de decidirse por esta alternativa de capacidad, la propietaria debe examinar también los aspectos cualitativos, como la localización futura de los competidores. Además, el ambiente hogareño del restaurante podría perderse con la expansión. Adicionalmente, sería conveniente considerar otras alternativas (véase el problema resuelto 3).

HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD

La planificación de la capacidad requiere pronósticos de demanda que abarquen un periodo prolongado. Por desgracia, la precisión de los pronósticos disminuye a medida que el horizonte de pronosticación se alarga. Además, la necesidad de prever lo que hará la competencia acrecienta la incertidumbre en los pronósticos de la demanda. Finalmente, la distribución de la demanda durante un periodo cualquiera no es uniforme: en ese tiempo pueden presentarse (y a menudo se presentan) crestas y valles de demanda. Estas realidades imponen la necesidad de usar colchones de capacidad. En esta sección se presentarán tres herramientas que abordan con más formalidad la incertidumbre y variabilidad de la demanda: (1) los modelos de filas de espera; (2) la simulación, y (3) los árboles de decisiones. Los modelos de filas de espera y la simulación toman en cuenta el comportamiento independiente y aleatorio de muchos clientes, tanto en función de sus tiempos de llegada como de las necesidades de procesamiento. Los árboles de decisiones permiten prever ciertos acontecimientos, como las actividades de la competencia.

MODELOS DE FILAS DE ESPERA

Con frecuencia, los modelos de filas de espera son útiles para la planificación de la capacidad; por ejemplo, para seleccionar el colchón de capacidad apropiado para un proceso en el que hay un alto nivel de contacto con el cliente. Las filas de espera tienden a formarse frente a ciertos centros de trabajo, como el mostrador de boletos en un aeropuerto, un centro de máquinas o una computadora central. La razón es que los tiempos de llegada entre dos trabajos o clientes sucesivos varían y el tiempo de procesamiento también varía de un cliente a otro. Los modelos de filas de espera usan distribuciones de probabilidades para ofrecer estimaciones del tiempo de retraso promedio de los clientes, la longitud promedio de las filas de espera y la utilización del centro de trabajo. Los gerentes usan esta información para elegir la capacidad más rentable, hallando un equilibrio entre la atención al cliente y el costo de agregar capacidad.

El suplemento C, “Filas de espera”, que se presenta a continuación de este capítulo, ofrece una exposición más completa de estos modelos. Allí se presentan fórmulas para estimar varias características importantes de una fila de espera, como el tiempo promedio de espera del cliente y la utilización promedio de la instalación para diferentes diseños de instalaciones. Por ejemplo, una instalación puede estar diseñada para que se formen una o varias filas de espera en cada operación y para que los clientes circulen por una o múltiples operaciones. Dada la capacidad de cálculo de estas fórmulas y las estimaciones de costos para hacer evaluaciones de los tiempos de espera y de ocio, los gerentes pueden seleccionar diseños rentables y niveles de capacidad que también proporcionen el nivel deseado de atención al cliente.

La figura 7.5 muestra los resultados obtenidos en POMS para Windows para filas de espera. Un profesor que se reúne con sus alumnos durante el horario de oficinas tiene una tasa de llegadas de tres estudiantes por hora y una tasa de servicio de seis estudiantes por hora. Lo resultados muestran que el colchón de capacidad es de 50% (1 – utilización promedio del servidor de 0.50). Este resultado se espera porque la tasa de producción es del doble de la tasa de llegadas. Lo que resulta inesperado es que el estudiante típico pasa 0.33 horas ya sea formado en la fila o hablando con el profesor, y la probabilidad de tener dos o más estudiantes en la oficina es de 0.125. Estas cifras pueden ser sorprendentemente altas, dado el colchón de capacidad tan grande.

SIMULACIÓN

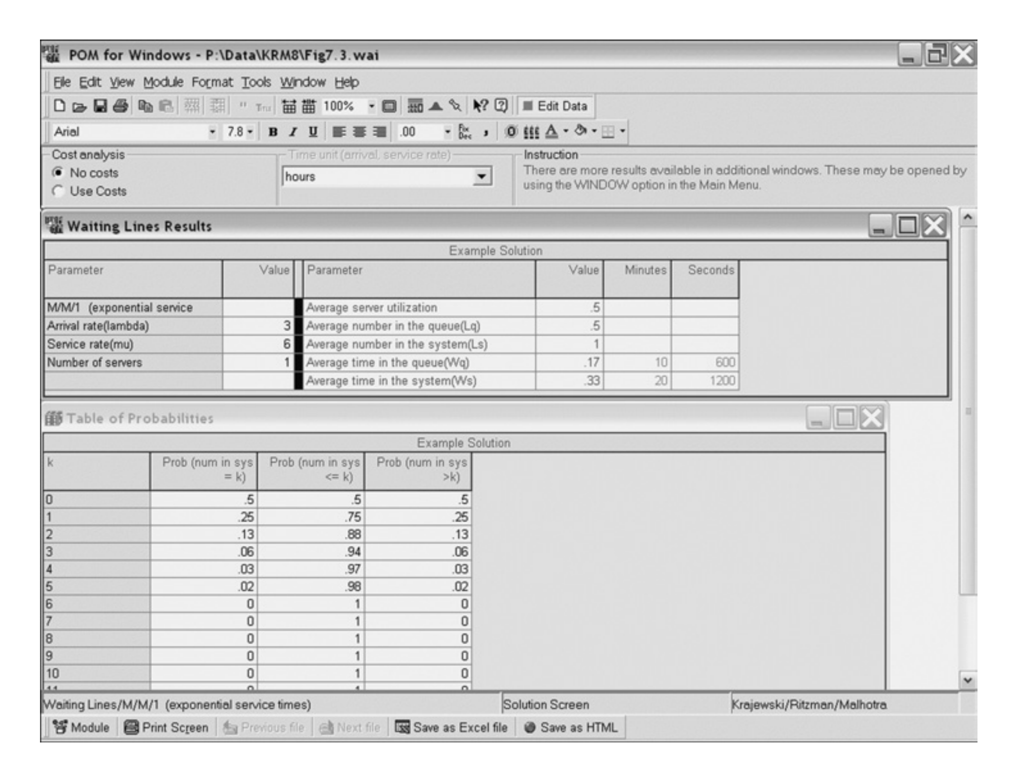
Los problemas más complejos de filas de espera deben analizarse con simulación (véase el suplemento B, “Simulación”). Esta técnica identifica los cuellos de botella del proceso y los colchones de capacidad correspondientes, aun en procesos complejos con patrones de demanda aleatorios y picos de demanda previsibles durante un día típico. El paquete de simulación SimQuick, que se incluye en el CD-ROM del estudiante, permite crear modelos y sistemas dinámicos. Existen otros paquetes de simulación, como Extend, Simprocess, ProModel y Witness.

ÁRBOLES DE DECISIONES

Un árbol de decisiones puede ser especialmente valioso para evaluar diferentes alternativas de expansión de la capacidad cuando la demanda es incierta y cuando intervienen decisiones secuenciales (véase el suplemento A, “Toma de decisiones”). Por ejemplo, la dueña del Grandmother’s Chicken Restaurant (ejemplo 7.5) puede ampliar ahora el restaurante y descubrir en el cuarto año que el crecimiento de la demanda es mucho mayor de lo pronosticado. En ese caso, tendrá que decidir si debe expandirse más. En términos de costos de construcción y tiempo de inactividad, es probable que dos ampliaciones resulten mucho más costosas que la construcción de una sola instalación grande desde el principio. Sin embargo, hacer una ampliación grande ahora que el crecimiento de la demanda es bajo significa una utilización también baja de las instalaciones. Esto depende en buena medida de la demanda.

FIGURA 7.5

Resultados de POM para Windows para una fila de espera en horarios de oficina



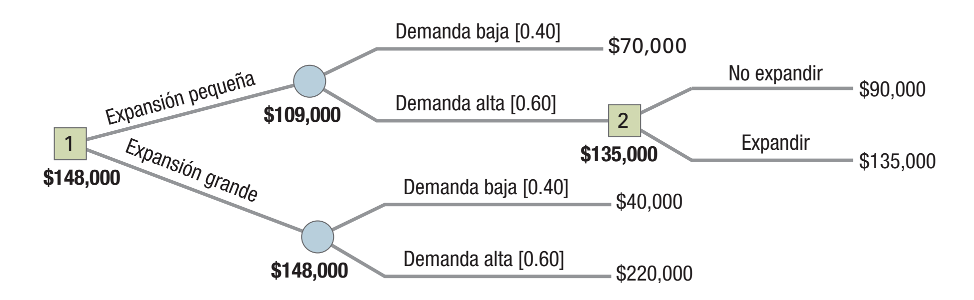


FIGURA 7.6
Árbol de decisiones para la expansión de la capacidad

La figura 7.6 muestra un árbol de decisiones para esta visión particular del problema y aporta nueva información. El crecimiento de la demanda puede ser alto o bajo, con probabilidades de 0.4 y 0.6, respectivamente. La expansión inicial en el primer año (nodo cuadrado 1) sólo puede ser pequeña o grande. El segundo nodo de decisión (nodo cuadrado 2), correspondiente a si se debe hacer o no una ampliación en alguna fecha posterior, se alcanza solamente si la expansión inicial es pequeña y la demanda resulta ser alta. Si la demanda es alta y la expansión inicial fue pequeña, se deberá tomar una decisión acerca de una posible segunda ampliación en el cuarto año. Se estiman los resultados para cada rama del árbol. Por ejemplo, si la expansión inicial es grande, el beneficio económico es de $40,000 o $220,000, dependiendo de si la demanda es baja o alta. Al ponderar estos resultados de acuerdo con las probabilidades, se obtiene un valor esperado de $148,000. Como este resultado esperado es mayor que el resultado de $109,000 correspondiente a la expansión inicial pequeña, la mejor decisión es hacer una ampliación grande en el primer año.

Para soporte de software en el análisis de árboles de decisiones, véase SmartDraw, análisis de decisiones Precision Tree y Decision Programming Language.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

ECUACIONES CLAVE

1. Utilización, expresada como un porcentaje:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tasa promedio de producción}}{\text{Capacidad máxima}} \times 100\%$$

2. Colchón de capacidad, C, expresado como un porcentaje:

$$C = 100\% - \text{tasa de utilización (\%)}$$

3. a. Necesidad de capacidad para un servicio o producto:

$$M = \frac{Dp}{N[1-(C/100)]}$$

b. Necesidad de capacidad para múltiples servicios o productos:

$$M = \frac{[Dp+(D/Q)s]_{\text{producto 1}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{producto 2}} + \cdots + [Dp+(D/Q)s]_{\text{producto } n}}{N[1-(C/100)]}$$

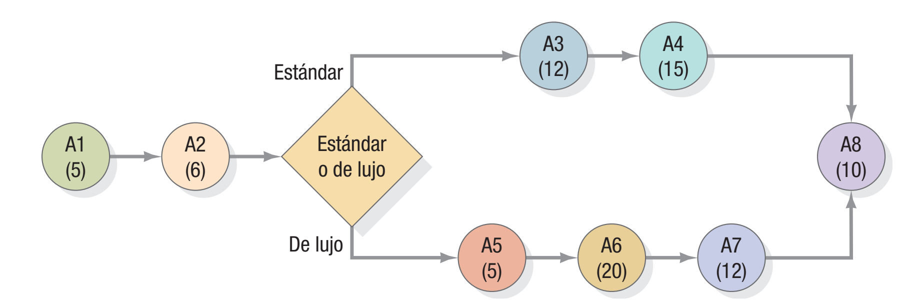
TÉRMINOS CLAVE

brecha de capacidad 272
capacidad 254
caso base 272
colchón de capacidad 268
cuello de botella 254
deseconomías de escala 267
economías de escala 265
flujo de efectivo 272
horizonte de planificación 270
necesidad de capacidad 270
restricción 254
tasa de producción (por unidad de tiempo) 259
teoría de restricciones (TOC) 255
tiempo de preparación 260
utilización 256

PROBLEMA RESUELTO 1

Bill's Car Wash ofrece dos tipos de lavado: estándar y de lujo. El flujo del proceso para ambos tipos de clientes se muestra en el siguiente diagrama. Los dos tipos de lavado se procesan primero en los pasos A1 y A2. El lavado estándar continúa en los pasos A3 y A4, mientras que el de lujo se pro-

cesa en los pasos A5, A6 y A7. Las dos ofertas terminan en la estación de secado (A8). Las cifras entre paréntesis indican los minutos que se requieren para que esa actividad procese un cliente.



a. ¿Qué paso es el cuello de botella en el proceso de lavado de automóviles estándar y de lujo?
b. ¿Qué capacidad (medida en función de clientes atendidos por hora) tiene Bill's Car Wash para procesar clientes estándar y de lujo? Suponga que no hay clientes esperando en los pasos A1, A2 y A8.
c. Si 60% de los clientes son estándar y 40% de lujo, ¿cuál es la capacidad promedio del lavado de automóviles en términos de clientes por hora?
d. ¿Dónde esperaría usted que los clientes del lavado estándar se toparan con filas de espera, suponiendo que siempre están entrando clientes nuevos en el establecimiento y que no hay clientes del lavado de lujo? ¿Dónde tendrían que esperar los clientes del lavado de lujo, suponiendo que no hubiera clientes estándar?

SOLUCIÓN

a. El paso A4 es el cuello de botella en el proceso de lavado estándar y el paso A6 es el cuello de botella en el proceso de lavado de lujo, porque estos pasos son los que tardan más tiempo en el flujo.
b. La capacidad para lavados estándar es de 4 clientes por hora porque el paso cuello de botella A4 puede procesar un cliente cada 15 minutos (60/15). La capacidad del proceso de lavado de lujo es de 3 clientes por hora (60/20). Estas capacidades se obtienen traduciendo los "minutos por cliente" de cada actividad cuello de botella en "clientes por hora",
c. La capacidad promedio de lavado de automóviles es de $[(0.60 \times 4) + (0.40 \times 3)] = 3.6$ clientes por hora.
d. Los clientes del lavado estándar esperarían antes de los pasos A1, A2, A3 y A4 porque las actividades que los preceden inmediatamente tienen una tasa de producción más alta (es decir, tiempos de procesamiento más cortos). Los clientes del lavado de lujo tendrían que esperar antes de los pasos A1, A2 y A6 por las mismas razones. A1 se incluye en ambos tipos de lavado porque la tasa de llegada de los clientes siempre puede rebasar la capacidad de A1.

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Se le ha encomendado la tarea de integrar un plan de capacidad para una operación crítica que constituye un cuello de botella en Surefoot Sandal Company. La medida de la capacidad es el número de máquinas. Se fabrican tres productos (sandalias para caballeros, damas y niños). Los estándares de tiempo (de procesamiento y preparación), el tamaño de los lotes y los pronósticos de demanda se presentan en la siguiente tabla. La empresa trabaja dos turnos de 8 horas, 5 días a la semana, 50 semanas al año. Se sabe por experiencia que un colchón de capacidad de 5% es suficiente.

	Estándares de tiempo			
Producto	**Procesamiento (h/par)**	**Preparación (h/par)**	**Tamaño del lote (pares/lote)**	**Pronóstico de demanda (pares/año)**
Sandalias para caballero	0.05	0.5	240	80,000
Sandalias para dama	0.10	2.2	180	60,000
Sandalias para niño	0.02	3.8	360	120,000

a. ¿Cuántas maquinas se necesitan?
b. Si la operación tiene actualmente dos máquinas, ¿cuál es la brecha de capacidad?

SOLUCIÓN

a. El número de horas de operación al año, *N*, es:

$$N = (2 \text{ turnos/día})(8 \text{ horas/turno})(250 \text{ días/máquina-año})$$
$$= 4{,}000 \text{ horas/máquina-año}$$

El número de máquinas necesarias, *M*, es la suma de los requisitos de horas máquina para los tres productos, dividida entre el número de horas productivas disponibles en una máquina:

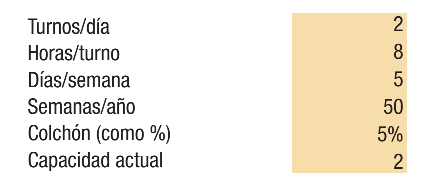
$$M = \frac{[Dp+(D/Q)s]_{\text{caballeros}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{damas}} + [Dp+(D/Q)s]_{\text{niños}}}{N[1-(C/100)]}$$

$$= \frac{\begin{array}{c}[80{,}000(0.05)+(80{,}000/240)0.5]+[60{,}000(0.10)+(60{,}000/180)2.2]\\ +[120{,}000(0.02)+(120{,}000/360)3.8]\end{array}}{4{,}000[1-(5/100)]}$$

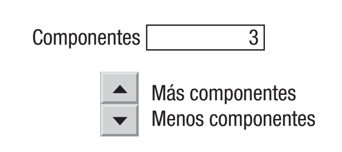
$$= \frac{14{,}567 \text{ horas/año}}{3{,}800 \text{ horas/máquina-año}} = 3.83 \quad \text{o} \quad 4 \text{ máquinas}$$

b. La brecha de capacidad es de 1.83 máquinas (3.83 – 2). Deben comprarse dos máquinas más, a menos que la gerencia decida recurrir a opciones de corto plazo para cerrar la brecha.

El *solver* de necesidades de capacidad en OM Explorer confirma estos cálculos, como muestra la figura 7.7, usando sólo el escenario "Esperado" para los pronósticos de demanda.



Turnos/día	2
Horas/turno	8
Días/semana	5
Semanas/año	50
Colchón (como %)	5%
Capacidad actual	2



Componentes	Procesamiento (h/unidad)	Preparación (h/lote)	Tamaño del lote (unidades/lote)	Pronósticos de demanda: Pesimista	Esperado	Optimista
Sandalias para caballero	0.05	0.5	240		80,000	
Sandalias para dama	0.10	2.2	180		60,000	
Sandalias para niño	0.02	3.8	360		120,000	

Horas productivas de una unidad de capacidad en un año 3,800

	Pesimista		Esperado		Optimista	
	Proceso	Preparación	Proceso	Preparación	Proceso	Preparación
Sandalias para caballero	0	0.0	4,000	166.7	0	0.0
Sandalias para dama	0	0.0	6,000	733.3	0	0.0
Sandalias para niño	0	0.0	2,400	1,266.7	0	0.0
	0	0.0	12,400	2,166.7	0	0.0
Total de horas requeridas		0.0		14,566.7		0.0

	Pesimista	Esperado	Optimista
Total de necesidades de capacidad (M)	0.00	3.83	0.00
Redondeado	0	4	0

Escenarios que pueden satisfacerse con el sistema/capacidad actual: Pesimista, optimista

Si la capacidad aumenta en	0%
Capacidad actual ampliada	3,800

	Pesimista	Esperado	Optimista
Total de necesidades de capacidad (M)	0.00	3.83	0.00
Redondeado	0	4	0

Escenarios que pueden satisfacerse con la capacidad actual ampliada: Pesimista, optimista

FIGURA 7.7

UUso del *solver* de necesidades de capacidad para el problema resuelto 2

PROBLEMA RESUELTO 3

El caso base del Grandmother's Chicken Restaurant (véase el ejemplo 7.5) consiste en no hacer nada. La capacidad de la cocina en el caso base es de 80,000 comidas al año. Una alternativa para la capacidad del Grandmother's Chicken Restaurant es hacer una expansión en dos etapas. En esa alternativa, la cocina se amplía al final del año 0, aumentando su capacidad de 80,000 comidas al año a la misma que existe en el área del comedor (105,000 comidas al año). Si las ventas del primero y segundo años cumplen las expectativas, tanto la capacidad de la cocina como la del comedor se incrementarán al *final* del tercer año a 130,000 comidas al año. Este nivel mejorado de capacidad debe bastar hasta el quinto año. La inversión inicial sería de $80,000 al final del año 0, y se haría una inversión adicional de $170,000 al final del tercer año. La utilidad antes de impuestos es de $2 por comida. ¿Cómo son los flujos de efectivo, antes de impuestos, de esta alternativa hasta el quinto año en comparación con el caso base?

SOLUCIÓN

La tabla 7.3 muestra las entradas y salidas de efectivo. El flujo de efectivo del tercer año es atípico en dos aspectos. Primero, porque el flujo de ingresos de efectivo, por concepto de ventas, es de $50,000, en lugar de $60,000. El incremento en ventas con respecto al caso base es de 25,000 comidas (105,000 – 80,000), en vez de 30,000 comidas (110,000 – 80,000), porque la capacidad del restaurante se queda un poco corta en relación con la demanda. Segundo, porque al final del tercer año se produce una salida de efectivo por $170,000, cuando se lleva a cabo la segunda etapa de expansión. El flujo neto de efectivo para el tercer año es de $50,000 – $170,000 = –$120,000.

Para efectos de comparación, el NPV de este proyecto, a una tasa de descuento de 10%, se calcula como sigue, y es igual a menos $2,184.90.

$$\begin{aligned}\text{NPV} &= -80{,}000 + (20{,}000/1.1) + [40{,}000/(1.1)^2] - [120{,}000/(1.1)^3] + [80{,}000/(1.1)^4] \\ &\quad + [100{,}000/(1.1)^5] \\ &= -\$80{,}000 + \$18{,}181.82 + \$33{,}057.85 - \$90{,}157.77 + \$54{,}641.07 + \$62{,}092.13 \\ &= -\$2{,}184.90\end{aligned}$$

En términos puramente monetarios, la expansión en una sola etapa parece ser una mejor alternativa que esta expansión en dos etapas. Sin embargo, también deben tomarse en consideración otros factores cualitativos, como se mencionó anteriormente.

TABLA 7.3 Flujos de efectivo para la expansión en dos etapas del Grandmother's Chicken Restaurant

Año	Demanda proyectada (comidas/año)	Capacidad proyectada (comidas/año)	Cálculo del flujo de efectivo incremental comparado con el caso base (80,000 comidas/año)	Entrada (salida) de efectivo
0	80,000	80,000	Incrementar la capacidad de la cocina a 105,000 comidas =	($80,000)
1	90,000	105,000	90,000 − 80,000 = (10,000 comidas)($2/comida) =	$20,000
2	100,000	105,000	100,000 − 80,000 = (20,000 comidas)($2/comida) =	$40,000
3	110,000	105,000	105,000 − 80,000 = (25,000 comidas)($2/comida) =	$50,000
			Incrementar la capacidad total a 130,000 comidas =	($170,000)
				($120,000)
4	120,000	130,000	120,000 − 80,000 = (40,000 comidas)($2/comida) =	$80,000
5	130,000	130,000	130,000 − 80,000 = (50,000 comidas)($2/comida) =	$100,000

PREGUNTAS PARA DISCUSION

1. Identifique un proceso que vea todos los días, como el del almuerzo en la cafetería o el viaje de su casa a la escuela o trabajo. ¿Cuáles son los cuellos de botella que limitan la producción de este proceso, y cómo podría mejorarse la eficiencia de ese proceso?
2. ¿Cuáles son las economías de escala en el tamaño de la clase? A medida que aumenta el tamaño de la clase, ¿qué síntomas de deseconomías de escala aparecen? ¿Cómo se relacionan estos síntomas con el contacto con los clientes?

3. Un muchacho instaló un puesto para vender limonadas en la esquina de la calle College y el bulevar Air Park. En esa zona, la temperatura llega a los 38°C en verano. La intersección se encuentra cerca de una universidad importante y de una obra en construcción de grandes dimensiones. Explique a este joven empresario cómo podría beneficiarse su negocio con las economías de escala. Explíquele también algunas condiciones que podrían dar lugar a deseconomías de escala.

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. La peluquería de Bill ofrece varios tipos de corte de cabello y permanente para damas. El flujo del proceso en la figura 7.8 muestra que todas las clientas tienen que pasar por los pasos B1 y B2 y después se les atiende en una de las dos estaciones de trabajo en el paso B3. En seguida, avanzan al paso B4 o a los pasos B5 y B6, para terminar en el paso B7. Los números entre paréntesis indican los minutos que se necesitan en esa actividad para procesar una clienta.
   a. ¿Cuánto tiempo tarda una clienta en recorrer el proceso completo de servicio si se le procesó en los pasos B3-a, B4 y B7? ¿Y en los pasos B3-b, B5, B6 y B7?
   b. ¿Qué actividad es el cuello de botella de todo el proceso?
   c. Suponiendo que el negocio tiene un horario de trabajo de 8 horas y que la mitad de las clientas pasan por los pasos B3-a, B4 y B7, y la otra mitad por los pasos B3-b, B5, B6 y B7, ¿a cuántas clientas pueden atender?

2. La figura 7.9 detalla el flujo del proceso para dos tipos de clientas que van al taller de costura de Barbara's Boutique para que les arreglen la ropa. Después del paso T1, las clientas del tipo A avanzan al paso T2 y de ahí, pasan a cualquiera de las tres estaciones de trabajo en T3, continúan con el paso T4 y terminan en el paso T7. Después del paso T1, las clientas del tipo B avanzan al paso T5 y continúan con los pasos T6 y T7. Los números entre paréntesis son los minutos que se necesitan para procesar una clienta.
   a. ¿Qué capacidad tiene el taller de costura de Barbara's Boutique en función del número de clientas tipo A que reciben atención en una hora? Suponga que no hay clientas esperando en los pasos T1 y T7.
   b. Si 30% de las clientas son tipo A y 70% son tipo B, ¿qué capacidad promedio tiene el taller de costura de Barbara en términos de clientas por hora?
   c. ¿Cuándo esperaría usted que las clientas tipo A se toparan con filas de espera, suponiendo que no hubiera clientas tipo B en el taller? ¿Dónde tendrían que esperar las clientas tipo B, suponiendo que no hubiera clientas tipo A?

3. Canine Kernels Company (CKC) fabrica dos tipos diferentes de juguetes para perros (A y B, que se venden en cajas de 1,000 piezas cada una), los cuales se fabrican y ensamblan en tres estaciones de trabajo diferentes (W, X y Y) usando un proceso por lotes pequeños (figura 7.10). Los tiempos de preparación para cada lote son insignificantes. El diagrama de flujo indica la ruta que sigue cada producto en el proceso

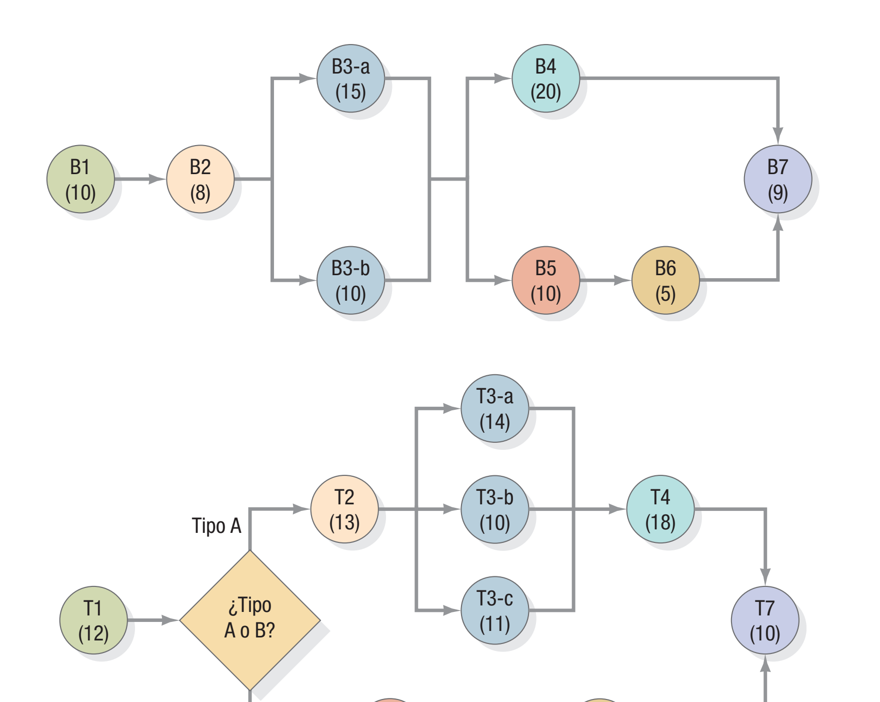


FIGURA 7.8 Flujo del proceso de la peluquería de Bill

FIGURA 7.9 Flujo del proceso de las clientas de Barbara's Boutique

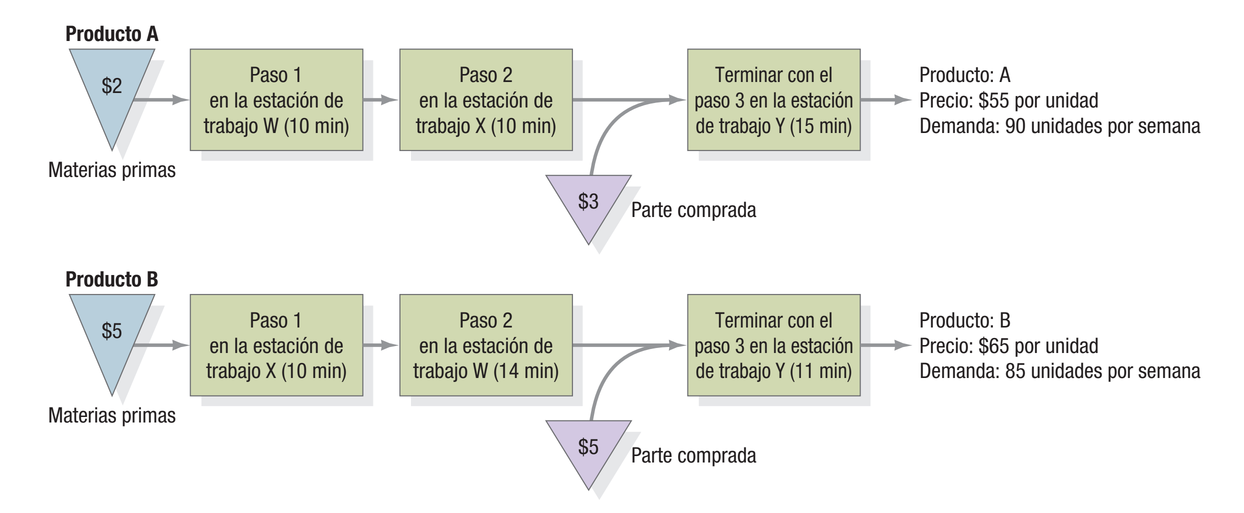


FIGURA 7.10 | Diagrama de flujo para Canine Kernels Company (CKC)

de manufactura, así como el precio de cada producto, la demanda por semana y los tiempos de procesamiento por unidad. Las partes compradas y las materias primas consumidas durante la producción se representan con triángulos invertidos. CKC puede fabricar y vender hasta el límite de la demanda semanal; no incurre en penalizaciones si no puede satisfacer toda la demanda. En cada estación de trabajo hay un operario dedicado a trabajar exclusivamente en esa estación de trabajo, que gana $6 por hora. Los costos generales variables ascienden a $3,500 por semana. La planta trabaja un turno de ocho horas por día, o 40 horas por semana. ¿Cuál de las tres estaciones de trabajo, W, X o Y, tiene la carga de trabajo agregada más grande y, por tanto, constituye el cuello de botella en CKC?

4. A la alta dirección de Canine Kernels Company (CKC) le preocupan las limitaciones de la capacidad actual, por lo que desea aceptar la mezcla de pedidos que maximice las utilidades de la compañía. Tradicionalmente, CKC ha utilizado el método del margen de contribución más alto, en el cual las decisiones se toman para producir la mayor cantidad de productos con el margen de utilidad más alto posible (hasta el límite de la demanda), seguido por el siguiente producto con el margen de utilidad más alto, y así sucesivamente, hasta que no queda más capacidad disponible. En virtud de que la capacidad es limitada, es crucial elegir la mezcla de productos correcta. Tory Hendrix, el recién contratado supervisor de producción, es un ferviente seguidor de la filosofía de la teoría de restricciones y la programación basada en los cuellos de botella. Él está convencido de que la rentabilidad puede de aprobarse, en efecto, si los recursos cuello de botella se explotan para determinar la mezcla de productos.

a. ¿Qué utilidades se obtienen si se usa el método tradicional del margen de utilidad para determinar la mezcla de productos de CKC?

b. ¿Qué utilidades se obtienen si se usa el método basado en los cuellos de botella, propuesto por Troy para seleccionar la mezcla de productos?

c. Calcule las utilidades, tanto en términos absolutos como en términos de ganancias porcentuales, usando los principios de la TOC para determinar la mezcla de productos.

5. El Dahlia Medical Center tiene 30 salas de trabajo de parto, 15 salas combinadas para trabajo de parto y partos, 3 salas de partos y 1 sala de partos especiales, reservada para alumbramientos complicados. Todas estas instalaciones funcionan las 24 horas del día. El tiempo que pasan las pacientes en las salas de trabajo de parto varía entre algunas horas y varios días, con un promedio aproximado de un día. El parto promedio sin complicaciones requiere cerca de una hora en una sala de partos.

En un periodo de tres días excepcionalmente activos, 115 bebés saludables nacieron o fueron recibidos en el Dahlia Medical Center. En salas separadas de trabajo de parto y partos nacieron 60 bebés, otros 45 nacieron en salas combinadas de trabajo de parto y partos, 6 nacieron camino del hospital y sólo 4 bebés requirieron una sala de trabajo de parto y la sala para partos complicados. ¿Cuál de las instalaciones (salas de trabajo de parto, salas de trabajo de parto y partos o salas de partos) tuvo mayor tasa de utilización?

6. Un proceso da servicio actualmente a un promedio de 50 clientes diarios. Algunas observaciones realizadas en las últimas semanas indican que su utilización es de aproximadamente 90%, lo que permite sólo un colchón de capacidad de 10%. Si se espera que la demanda sea igual a 75% del nivel actual dentro de cinco años y la gerencia desea tener un colchón de capacidad de sólo 5%, ¿qué necesidades de capacidad debe planificar?

7. Una compañía de aviación tiene que planear la capacidad de su flota y el programa a largo plazo de la utilización de los aviones. Para un tramo de vuelo, el número promedio de clientes diarios es de 70, lo que representa una tasa de utilización de 65% del equipo asignado a ese tramo de vuelo. Si se espera que la demanda aumente a 84 clientes en este tramo de vuelo dentro de tres años, ¿qué necesidades de capacidad deben planificarse? Suponga que la gerencia considera que un colchón de capacidad de 25% sería apropiado.

8. Un proveedor de frenos de automóvil trabaja dos turnos de ocho horas, cinco días a la semana, 52 semanas al año. La tabla 7.4 presenta los estándares de tiempo, tamaño de los lotes y pronósticos de demanda para tres componentes. Debido a la incertidumbre que existe en torno a la demanda, el gerente de operaciones obtuvo tres pronósticos de demanda (pesimista, esperado y optimista). El gerente cree que lo más conveniente es un colchón de capacidad de 20%.

TABLA 7.4 Información sobre la capacidad de un proveedor de frenos de automóvil

	Estándar de tiempo			Pronóstico de demanda		
Componente	**Procesamiento (h/espera)**	**Preparación (h/lote)**	**Tamaño del lote (unidades/lote)**	**Pesimista**	**Esperado**	**Optimista**
A	0.05	1.0	60	15,000	18,000	25,000
B	0.20	4.5	80	10,000	13,000	17,000
C	0.05	8.2	120	17,000	25,000	40,000

a. ¿Cuál es el número mínimo de máquinas necesarias? ¿El número esperado? ¿Y el número máximo?

b. Si la operación tiene actualmente tres máquinas y el gerente está dispuesto a expandir la capacidad en 20% por medio de opciones a corto plazo, en caso de que se presente la demanda optimista, ¿cuál es la brecha de capacidad?

9. Up, Up, and Away es una empresa fabricante de cometas y mangas de viento. En la tabla siguiente se presentan los datos pertinentes sobre una operación que será un cuello de botella para esta fábrica en el próximo ejercicio fiscal:

Concepto	Cometas	Mangas de viento
Pronóstico de demanda	30,000 unidades/año	12,000 unidades/año
Tamaño del lote	20 unidades	70 unidades
Tiempo estándar de procesamiento	0.3 horas/unidad	1.0 hora/unidad
Tiempo estándar de preparación	3.0 horas/lote	4.0 horas/lote

El taller trabaja dos turnos diarios, ocho horas por turno, 200 días al año. En la actualidad, la compañía cuenta con cuatro máquinas, y desea un colchón de capacidad de 25%. ¿Cuántas máquinas será conveniente comprar para satisfacer la demanda del año próximo sin recurrir a ninguna de las soluciones de capacidad a corto plazo?

10. Tuff-Rider, Inc. fabrica bicicletas de turismo y de montaña con diferentes tamaños de cuadro, colores y combinaciones de componentes. La planta produce bicicletas idénticas en lotes de 100. La demanda proyectada, el tamaño del lote y los estándares de tiempo aparecen en la tabla siguiente:

Concepto	Turismo	Montaña
Pronóstico de demanda	5,000 unidades/año	10,000 unidades/año
Tamaño del lote	100 unidades	100 unidades
Tiempo estándar de procesamiento	0.25 horas/unidad	0.50 horas/unidad
Tiempo estándar de preparación	2 horas/lote	3 horas/lote

El taller trabaja actualmente ocho horas diarias, cinco días a la semana, 50 semanas al año. Tiene cinco estaciones de trabajo, cada una de las cuales produce una bicicleta en el tiempo que se indica en la tabla. El taller mantiene un colchón de capacidad de 15%. ¿Cuántas estaciones de trabajo se requerirán el año próximo para satisfacer la demanda esperada sin tener que trabajar tiempo extra y sin que disminuya el colchón de capacidad actual de la compañía?

11. Arabelle está estudiando la posibilidad de expandir el área de su tienda de ropa importada de alta costura, The French Prints of Arabelle, ampliando el espacio que alquila en el lujoso centro comercial Cherry Creek, de 2000 pies cuadrados a 3000 pies cuadrados. El centro comercial Cherry Creek registra una de las tasas de valor de ventas por pie cuadrado más altas del país. El alquiler (que incluye servicios públicos, seguridad y costos conexos) es de $110 por pie cuadrado al año. Los aumentos salariales relacionados con la expansión de The French Prints aparecen en la tabla siguiente, junto con proyecciones de las ventas por pie cuadrado. El costo de compra de los bienes vendidos equivale en promedio a 70% del precio de venta. Las ventas son estacionales, con un pico importante durante la temporada de festividades de fin de año.

Año	Trimestre	Ventas (por pie cuadrado)	Incremento de salarios
1	1	$ 90	$12,000
	2	60	8,000
	3	110	12,000
	4	240	24,000
2	1	99	12,000
	2	66	8,000
	3	121	12,000
	4	264	24,000

a. Si Arabelle amplía French Prints al final del año 0, ¿cuáles serán sus flujos trimestrales de efectivo, antes de impuestos, hasta el final del año 2?

b. Proyecte los flujos trimestrales de efectivo, antes de impuestos, suponiendo que la pauta de venta (10% de incremento compuesto cada año) continuará hasta el final del año 3.

12. El parque de diversiones Astro World tiene ahora mismo la oportunidad de expandir su tamaño (está al final del año 0), si compra la propiedad adyacente a $250,000 y añade atracciones al costo de $550,000. Con esta ampliación esperan incrementar el número de asistentes un 30% por encima de la concurrencia proyectada si no se hiciera dicha expansión. El precio de entrada es de $30, con un aumento planeado de $5

para principios del año 3. Se han previsto costos de operación adicionales por $100,000 al año. El número de asistentes estimado para los próximos cinco años, *sin la expansión*, es el siguiente:

Año	1	2	3	4	5
Asistentes	30,000	34,000	36,250	38,500	41,000

a. ¿Cuáles son los flujos combinados de efectivo, antes de impuestos, para los años 0 a 5, que son atribuibles a la expansión del parque?

b. Pasando por alto impuestos, depreciación y el valor del dinero en el tiempo, determine cuánto tiempo tendrá que pasar para recuperar (amortizar) la inversión.

13. Kim Epson opera un servicio completo de lavado de automóviles que funciona de 8 de la mañana a 8 de la noche, los siete días de la semana. El lavado de autos tiene dos estaciones: una de lavado y secado automático y otra de limpieza manual de interiores. La estación de lavado y secado automático es capaz de atender 30 vehículos por hora. La estación de limpieza manual de interiores puede atender 200 autos cada día. Con base en una revisión de las operaciones al final del año realizada en fechas recientes, Kim estima que la demanda futura de la estación de limpieza de interiores durante los siete de días de la semana, expresada en términos del número promedio de automóviles por día, será como se indica a continuación:

Día	Lun.	Mar.	Mié.	Jue.	Vie.	Sáb.	Dom.
Autos	160	180	150	140	280	300	250

Instalando equipo adicional (a un costo de $50,000), Kim puede aumentar la capacidad de la estación de limpieza de interiores a 300 automóviles diarios. El lavado de cada vehículo genera una contribución de $4.00, antes de impuestos. ¿Debe Kim instalar el equipo adicional si prevé que el periodo de amortización, antes de impuestos, será de tres años o menos?

14. Roche Brothers estudia la posibilidad de expandir la capacidad de su supermercado. El propietario del predio construirá el local anexo, a cambio de un pago de $200,000 cuando la obra esté terminada y un contrato de arrendamiento por cinco años. El aumento del alquiler por concepto de espacio adicional será de $10,000 mensuales. A continuación se presentan las ventas anuales proyectadas hasta el final del año 5. La capacidad efectiva actual es equivalente a 500,000 clientes al año. Suponga una utilidad de 2% sobre las ventas, antes de impuestos.

Año	1	2	3	4	5
Clientes	560,000	600,000	685,000	700,000	715,000
Promedio de ventas por cliente	$50.00	$53.00	$56.00	$60.00	$64.00

a. Si Roche expande su capacidad ahora (al final del año 0) para atender a 700,000 clientes al año, ¿cuáles serán los incrementos anuales proyectados para los flujos de efectivo, antes de impuestos, atribuibles a la expansión?

b. Si Roche expande su capacidad para atender a 700,000 clientes al año al final del año 2, el propietario del predio construirá la misma ampliación por $240,000 y un contrato de alquiler poR tres años, a razón de $12,000 al mes. ¿Cuáles son los incrementos anuales proyectados para los flujos de efectivo, antes de impuestos, atribuibles a esta alternativa de expansión?

PROBLEMAS AVANZADOS

Los problemas 17, 20 y 21 requieren la lectura del suplemento A, "Toma de decisiones". Los problemas 18 y 20 requieren la lectura del suplemento J, "Análisis financiero", en el CD-ROM del estudiante.

15. Yost-Perry Industries (YPI) produce una variedad de guitarras baratas (A, B, C) que se fabrican y ensamblan en cuatro diferentes estaciones de procesamiento (W, X, Y, Z). La operación es un proceso por lotes, con tiempos de preparación muy breves que pueden considerarse insignificantes. La información del producto (precio, demanda semanal y tiempos de procesamiento) y la secuencia del proceso se ilustran en la figura 7.11. Las materias primas y las partes compradas (que se muestran como una tasa de consumo por unidad) están representadas por los triángulos invertidos. YPI puede fabricar y vender hasta el límite de la demanda semanal sin incurrir en penalizaciones si no puede satisfacer la demanda completa. En cada estación de trabajo hay un operario altamente calificado que se dedica a trabajar exclusivamente en esa estación de trabajo y gana $15 por hora. La planta trabaja un turno de ocho horas todos los días y opera 5 días a la semana (es decir, 40 horas de producción por persona por semana). Los costos generales variables ascienden a $9,000 por semana. ¿Cuál de las cuatro estaciones de trabajo, W, X, Y o Z, tiene la carga de trabajo agregada más grande y, por tanto, constituye el cuello de botella en Yost-Perry Industries?

16. El equipo de alta dirección de Yost-Perry Industries quiere mejorar la rentabilidad de la empresa y cree que lo logrará si acepta el conjunto correcto de pedidos. En la actualidad, las decisiones se toman para aceptar la mayor cantidad posible del producto con más alto margen de utilidad (hasta el límite de la demanda), seguido por el siguiente producto con el margen de utilidad más alta, y así sucesivamente hasta utilizar toda la capacidad. Debido a que la empresa no puede satisfacer toda la demanda, la mezcla de productos debe elegirse con sumo cuidado. Jay Perry, el supervisor de producción, recién ascendido al puesto, conoce bien la teoría de restricciones y la programación basada en los cuellos de botella. Está convencido de que la rentabilidad puede aprobarse, en efecto, si los recursos cuellos de botella se explotan para determinar la mezcla de productos. ¿Cuál será el cambio en las utilidades si, en lugar del método tradicional que YPI ha usado hasta ahora, se utiliza el método basado en los cuellos de botella que ha propuesto Jack para seleccionar la mezcla de productos?

17. Un gerente está tratando de decidir si debe comprar una o dos máquinas. Si compra sólo una máquina y la demanda resulta ser excesiva, podrá comprar después la segunda máquina. Sin embargo, se perderían algunas ventas porque el tiempo de entrega para ese tipo de máquinas es de seis meses. Además, el costo por máquina es menor si las dos máquinas se compran al mismo tiempo. La probabilidad estimada de que la demanda sea baja es de 0.30 y de que sea alta es de 0.70. El valor presente neto (NPV), después de impuestos, de los beneficios de comprar las dos máquinas juntas es de $90,000 si la demanda es baja y de $170,000 si la demanda es alta.

Si se compra una máquina y la demanda es baja, el NPV es de $120,000. Si la demanda es alta, el gerente tiene tres opciones: no hacer nada, a la cual corresponde un NPV de $120,000; subcontratar, con un NPV de $140,000; y comprar la segunda máquina, con un NPV de $130,000.

a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema.

b. ¿Cuál es la mejor decisión y cuál es el resultado esperado?

18. Hace varios años, River City construyó una planta purificadora de agua para eliminar las toxinas y filtrar el agua potable de la ciudad. A causa del crecimiento de la población, la demanda de agua para el año próximo será mayor que la capa-

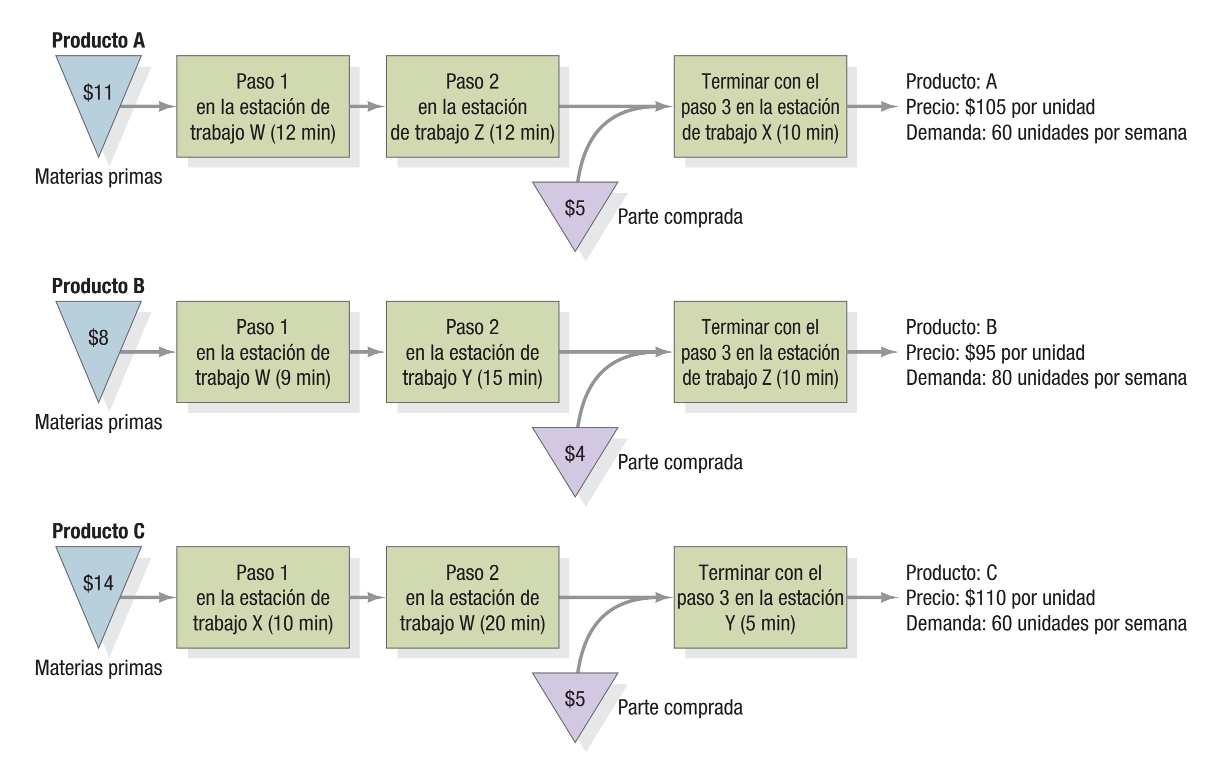


FIGURA 7.11 | Diagrama de flujo para Yost Perry Industries (YPI)

cidad de la planta, que hoy es de 120 millones de galones al año. Por lo tanto, la ciudad debe expandir las instalaciones. La tabla 7.5 presenta la demanda estimada para los próximos 20 años.

La comisión de planificación de la ciudad está considerando tres alternativas:

- *Alternativa 1:* expandirse al final del año 0 lo suficiente para no tener que volver a hacerlo en 20 años. Esto significa un incremento de 80 millones de galones (200 – 120).
- *Alternativa 2:* efectuar la expansión al final del año 0 y al final del año 10.
- *Alternativa 3:* expandirse al final de los años 0, 5,10 y 15.

Cada alternativa proporcionaría los 200 millones de galones anuales necesarios al cabo de 20 años, cuando el valor de la planta sería el mismo, cualquiera que haya sido la alternativa elegida. Hay notables economías de escala que pueden realizarse en los costos de construcción: la expansión a 20 millones de galones costaría $18 millones, a 40 millones de galones costaría $30 millones y a 80 millones de galones costaría sólo $50 millones. El nivel de las tasas de interés futuras es incierto, y eso provoca incertidumbre acerca de la tasa de crecimiento necesaria para justificar la inversión. La ciudad cree que ésta podría ubicarse entre 12% y 16% (véase el suplemento A, "Toma de decisiones").

a. Calcule los flujos de efectivo de cada alternativa, en comparación con el caso base de no hacer nada. (*Nota:* Por tratarse de un servicio público municipal, esta operación no paga impuestos).

b. ¿Qué alternativa minimiza el valor presente de los costos de construcción en el transcurso de los próximos 20 años si la tasa de descuento es de 12%? ¿Y si es de 16%?

TABLA 7.5 | Demanda de agua

Año	Demanda	Año	Demanda	Año	Demanda
0	120	7	148	14	176
1	124	8	152	15	180
2	128	9	156	16	184
3	132	10	160	17	188
4	136	11	164	18	192
5	140	12	168	19	196
6	144	13	172	20	200

c. Como la decisión implica políticas y compromisos públicos, ¿qué consideraciones políticas enfrenta la comisión de planificación?

19. Se han propuesto dos nuevas alternativas para ampliar el Grandmother's Chicken Restaurant (véase el problema resuelto 3). Ambas requieren automatizar más la cocina e incluyen un proceso especial de cocción que conserva el sabor de la receta original del pollo. Aunque el proceso es más intensivo en capital, abate el costo de la mano de obra, de modo que las utilidades antes de impuestos de *todas* las ventas (no sólo las de la nueva capacidad agregada) ascenderían de 20 a 22%. Esta ganancia elevaría las utilidades antes de impuestos en 2% por cada dólar de ventas hasta $800,000 (80,000 comidas × $10) y en 22% por cada dólar de ventas entre $800,000 y el nuevo límite de capacidad. Por lo demás, las nuevas alternativas son muy parecidas a las del ejemplo 7.5 y el problema resuelto 3.

- *Alternativa 1:* expandir ahora (al final del año 0) la cocina y el área del comedor, elevando la capacidad a 130,000 comidas al año. El costo de construcción, incluida la nueva automatización, sería de $336,000 (en lugar de los $200,000 anteriores).
- *Alternativa 2:* expandir ahora sólo la cocina, elevando su capacidad a 105,000 comidas al año. Al final del tercer año, expandir la cocina y el comedor al volumen de 130,000 comidas al año. Los costos de construcción y equipo serían de $424,000, con $220,000 al final del año 0 y el resto al final del tercer año. Como en la alternativa 1, el margen de contribución aumentaría a 22%.

Con las dos nuevas alternativas, el valor de rescate sería insignificante. Compare los flujos de efectivo de todas las alternativas. ¿Debe expandirse el Grandmother's Chicken Restaurant con la nueva tecnología o con la anterior? ¿Debe ampliarse ahora o después?

20. Los negocios de Acme Steel Fabricators han sido muy prósperos en los últimos cinco años. La compañía fabrica una amplia gama de productos de acero, como barandales, escaleras y marcos de acero estructural ligero. El método manual vigente para manejo de materiales ocasiona un exceso de inventario y congestionamientos. Acme está considerando si debe comprar un sistema de transporte que pende de un riel, o un vehículo montacargas, para incrementar su capacidad y mejorar su eficiencia manufacturera.

Los resultados anuales del sistema, antes de impuestos, dependen de la demanda futura. Si la demanda se mantiene en el nivel actual, lo cual tiene una probabilidad de 0.50, el ahorro anual que producirá el transportador elevado será de $10,000. Si la demanda aumenta, el transportador permitirá ahorrar $25,000 al año por la eficiencia operativa, además de las nuevas ventas. Finalmente, si la demanda cae, el transportador provocará una pérdida anual estimada en $65,000. Se estima una probabilidad de 0.30 de que la demanda sea alta y de 0.20 de que sea baja.

Si se compra, el montacargas, los resultados anuales serán de $5,000 si la demanda no cambia, $10,000 si la demanda aumenta y –$25,000 si la demanda cae.

a. Dibuje un árbol de decisiones para este problema y calcule el valor esperado de los resultados de cada alternativa.
b. ¿Cuál es la mejor alternativa, con base en los valores esperados?

21. El vicepresidente de operaciones de Dintell Corporation, un importante proveedor de bolsas de aire protectoras para pasajeros de automóviles, está considerando una posible expansión de $50 millones en el complejo de producción de la empresa en Fort Worth. Las proyecciones económicas más recientes indican una probabilidad de 0.60 de que el mercado total sea de $400 millones al año en los cinco años próximos, y una probabilidad de 0.40 de que sea sólo de $200 millones al año en ese mismo periodo. El departamento de marketing estima que Dintell tiene una probabilidad de 0.50 de captar el 40% del mercado, y la misma probabilidad de que capte sólo el 30% del mercado. Se calcula que el costo de los bienes vendidos será igual a 70% de las ventas. Para efectos de planificación, la compañía usa actualmente una tasa de descuento de 12%, una tasa tributaria de 40% y la tabla depreciación del Sistema Modificado de Recuperación Acelerada de Costos (MACRS, del inglés *Modified Accelerated Cost Recovery System)*. Los criterios en los que se basan las decisiones de inversión de Dintell son: (1) el valor presente neto esperado debe ser mayor que cero; (2) debe haber por lo menos 70% de probabilidades de que el valor presente neto resulte positivo, y (3) no debe haber más de 10% de probabilidades de que la empresa pierda más de 20% del valor inicial.

a. Con base en los criterios expuestos, determine si Dintell debe financiar el proyecto.
b. ¿Qué efecto producirá en la decisión tener una probabilidad de 0.70 de captar el 40% del mercado?
c. ¿Qué efecto producirá en la decisión un aumento en la tasa de descuento a 15%? ¿Y una disminución a 10%?
d. ¿Qué efecto producirá en la decisión la necesidad de invertir otros $10 millones durante el tercer año?

APRENDIZAJE POR EXPERIENCIA

Min-Yo Garment Company

Min-Yo Garment Company es una pequeña empresa de Taiwán que fabrica ropa deportiva para los mercados de venta al mayoreo y al menudeo. La ropa de Min-Yo es única porque ofrece bordados y telas finas con una gran variedad de diseños lisos y a rayas. En sus 20 años de existencia, Min-Yo Garment Company se ha ganado la reputación de ser un fabricante de camisas deportivas de calidad, muy formal en sus entregas. Sin embargo, en ese mismo periodo, el carácter de la industria del vestido ha sufrido algunos cambios. En el pasado, las empresas podían tener éxito si fabricaban camisas estandarizas en grandes volúmenes, con pocas opciones de diseños o colores y largos tiempos de entrega por parte del área de producción. Actualmente, con el advenimiento del comercio regionalizado y la intensa competencia en el nivel minorista, los compradores de camisas buscan tiempos de entrega más cortos y una variedad mucho mayor en diseños y colores. En consecuencia, hoy en día existen muchas más oportunidades de negocios que nunca para una compañía que goza de prestigio como Min-Yo.

A pesar de que las oportunidades de éxito en los negocios parecían brillantes, la reunión de directivos de la semana pasada fue sombría. El señor Min-Yo Lee, presidente y propietario de Min-Yo Garment, expresó su preocupación por el desempeño de la compañía: “Nos enfrentamos a una intensa competencia de nuestros productos. Las grandes empresas de ropa están bajando sus precios porque ofrecen prendas de marca, que fabrican bajo licencia en altos volúmenes. Cada día más empresas incursionan en el negocio de las camisas hechas al gusto del cliente. Nuestras ganancias son más bajas de lo esperado y nuestro desempeño en términos de entregas se deteriora. Debemos reexaminar nuestras capacidades y decidir qué podemos hacer mejor”.

Productos

Min-Yo ha dividido su línea de productos en tres categorías: marcas producidas bajo licencia, marcas subcontratadas y prendas especiales.

Marcas producidas bajo licencia

Son marcas propiedad de una compañía, pero que, mediante un contrato de licencia, son producidas por otra empresa que también comercializa la marca dentro de una región geográfica específica. El otorgante de la licencia puede tener concesionarios autorizados en todo el mundo. Estos últimos pagan una cuota a la compañía que les otorga la licencia por el privilegio de comercializar la marca en su región y, a su vez, la compañía otorgante accede a proveer cierta publicidad para el producto, generalmente a través de medios de difusión con cobertura internacional. Uno de los aspectos clave del contrato de licencia es que el concesionario debe comprometerse a proveer cantidades suficientes del producto en el nivel de ventas al menudeo. El agotamiento de inventario perjudica la imagen de la marca.

En la actualidad, Min-Yo fabrica solamente una marca bajo licencia. Esa marca, conocida como la camisa Muscle, es propiedad de una gran “corporación virtual” de Italia que no posee instalaciones manufactureras propias. Min-Yo obtuvo una licencia para fabricar las camisas Muscle y venderlas a las grandes cadenas minoristas de Taiwán. Estas cadenas exigen la entrega expedita del producto al final de cada semana. Debido a las presiones competitivas de otras marcas bajo licencia, los precios bajos son importantes. Min-Yo vende cada camisa Muscle a las cadenas minoristas al precio de $6.

La demanda de camisas Muscle representa en promedio 900 prendas por semana. A continuación se presenta el pronóstico de la demanda de camisas Muscle para las próximas 12 semanas.

Semana	Demanda	Semana	Demanda
1*	700	7	1,100
2	800	8	1,100
3	900	9	900
4	900	10	900
5	1,000	11	800
6	1,100	12	700

*En otras palabras, la compañía espera vender 700 camisas Muscle al final de la semana 1.

Los pronósticos de Min-Yo para las camisas Muscle son precisos dentro de un margen de ±200 camisas por semana. Si la demanda supera a la oferta en una semana cualquiera, la demanda excedente se pierde. No se aceptan órdenes atrasadas y tampoco hay penalizaciones de costo para Min-Yo por las ventas perdidas.

Marcas subcontratadas

Los fabricantes de la industria del vestido se enfrentan con frecuencia a una demanda incierta. A fin de mantener el nivel de producción en sus plantas, muchos fabricantes buscan subcontratistas para producir sus marcas. A menudo, consideran a Min-Yo como subcontratista por su prestigio dentro de la industria. Aunque el precio es un aspecto a considerar, los dueños de las marcas subcontratadas conceden especial atención a la seguridad en la entrega y a la capacidad del subcontratista para ajustar las cantidades de los pedidos con poco tiempo de anticipación.

Actualmente, Min-Yo sólo fabrica una marca subcontratada, conocida como la camisa Thunder por sus brillantes colores. Las camisas Thunder se fabrican sobre pedido para una compañía de Singapur. El precio que cobra Min-Yo a esa compañía es de $7 por camisa. Cuando se hacen los pedidos, generalmente dos veces al mes, el cliente especifica la entrega de cierta cantidad durante cada una de las dos semanas siguientes. El último pedido que hizo el cliente está retrasado, lo cual obliga a Min-Yo a pagar un cargo de penalización. Para evitar otra multa, deberá embarcar 200 camisas en la semana 1. Se espera que la compañía de Singapur especifique las cantidades que va a necesitar para las semanas 2 y 3 al principio de la semana 1. Se espera que el programa de entregas correspondiente a los pedidos para las semanas 4 y 5 llegue al principio de la semana 3, y así sucesivamente. El cliente ha estimado que sus necesidades promedio para el año serán de 200 camisas por semana, aunque es frecuente que sus estimaciones sean inexactas.

En virtud de la importancia que tiene este cliente para Min-Yo, y considerando las largas negociaciones que realizó el departamento de ventas para obtener el negocio que este cliente representa, la gerencia siempre se esfuerza por satisfacer sus necesidades. Ésta considera que si en alguna ocasión Min-Yo

Garment se niega a aceptar un pedido de esta compañía, Min-Yo perderá el negocio de las camisas Thunder. De acuerdo con los términos del contrato de venta, Min-Yo accedió a pagar a este cliente $1 por cada camisa que no se envíe a tiempo, por cada semana que se retrase el embarque de dicha camisa. Los embarques retrasados deben ser compensados.

Prendas especiales

Las prendas especiales se fabrican únicamente sobre pedido del cliente porque constituyen manufacturas de bajo volumen y de carácter especializado. Los clientes acuden a Min-Yo Garment solicitando que les fabrique camisas para promociones especiales o para ocasiones particulares de su compañía. Las prendas especiales de Min-Yo se conocen como camisas Dragón a causa de los elaborados bordados y por el aire oriental de los diseños. En virtud de que cada camisa se confecciona siguiendo las especificaciones de un cliente determinado y requiere ajustes por separado, las prendas especiales no pueden fabricarse antes de que se reciba el pedido formal del cliente.

Aunque el precio no es una preocupación principal de los clientes de prendas especiales, Min-Yo vende sus camisas Dragón a $8 cada una, para desalentar a otras compañías que tratan de incursionar en el mercado de las camisas hechas a la medida de las especificaciones. Los clientes acuden a Min-Yo porque la compañía es capaz de producir con alta calidad casi cualquier diseño y entregar todo el pedido a tiempo. Al hacer un pedido de una camisa Dragón, el cliente especifica el diseño de la camisa (o lo escoge en el catálogo de Min-Yo), proporciona los diseños especiales de sus logotipos y especifica la cantidad de prendas que deberá incluir el pedido y la fecha de entrega del mismo. En el pasado, la gerencia comprobaba que cada pedido pudiera ajustarse a su programa y, de acuerdo con ese criterio, lo aceptaba o rechazaba. Si Min-Yo acepta un pedido para entregarlo al *final* de una semana determinada y no cumple con su compromiso, paga una penalización de $2 por camisa, por cada semana que se retrase la entrega. Esta multa se paga semanalmente hasta que el pedido demorado se entregue. La compañía intentó pronosticar la demanda de ciertos diseños específicos de camisas Dragón, pero desistió de su empeño. La semana pasada, Min-Yo tuvo cuatro oportunidades de vender 50, 75, 200 y 60 unidades de camisas Dragón, pero no aceptó ninguno de los pedidos. En el pasado, los pedidos de camisas Dragón han fluctuado entre 50 y 300 unidades con diversos tiempos de entrega.

La figura 7.12, correspondiente a un archivo de pedido abierto actual de Min-Yo, muestra que en alguna semana anterior, Min-Yo aceptó un pedido de 400 camisas Thunder, cuya entrega debió haberse realizado la semana pasada. El archivo de pedido abierto es importante porque contiene el compromiso que la gerencia adquiere con los clientes. Los compromisos son por una cierta cantidad y una fecha formal de entrega. A medida que se aceptan los pedidos de los clientes, la gerencia registra la cantidad en las celdas sombreadas que representa la semana en que debe entregarse. Debido a que las camisas Dragón son únicas, cada una de ellas tiene su propio número de pedido para uso futuro. En el archivo de pedido abierto no aparece ningún pedido de camisas Dragón porque Min-Yo no se ha comprometido a fabricar ninguna en las últimas semanas.

Manufactura

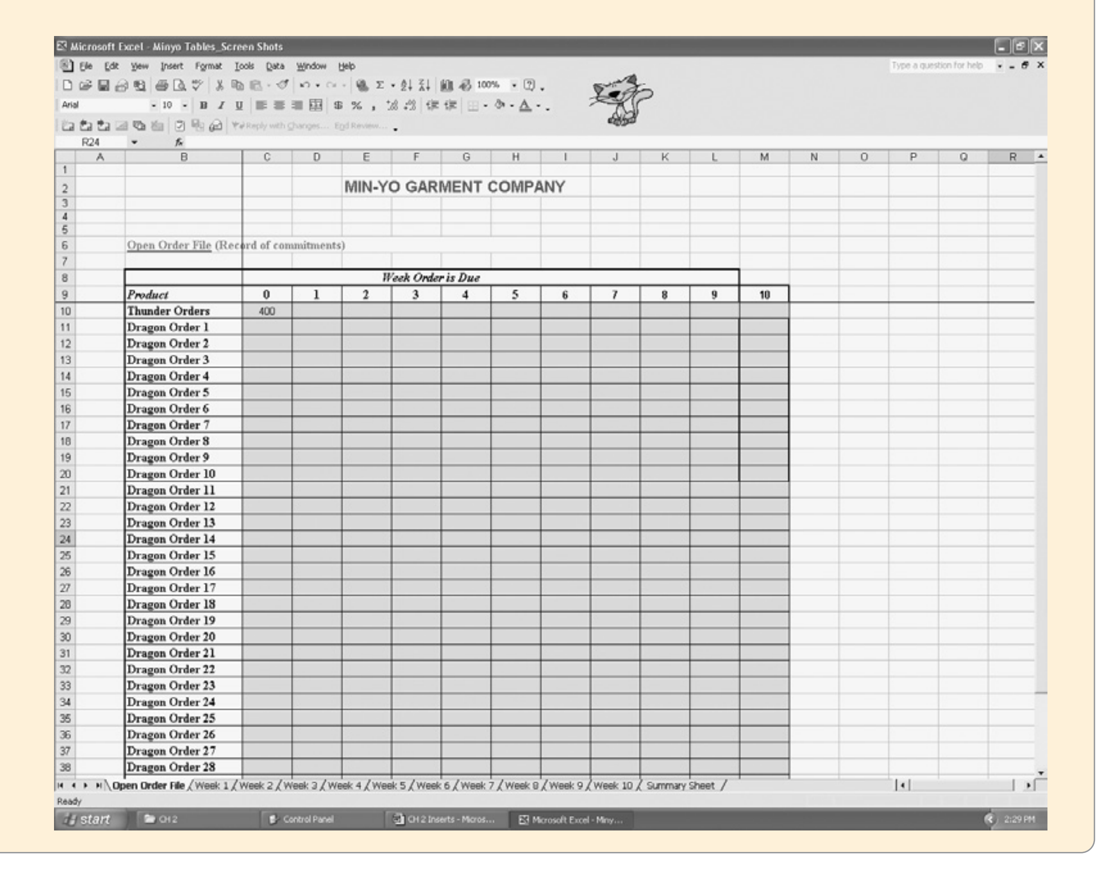
Proceso

Min-Yo Garment cuenta con la tecnología de proceso más moderna en la industria. Se trata de una máquina, llamada "fábrica de

FIGURA 7.12

Archivo de pedido abierto de Min Yo

Nota: Todos los pedidos deben entregarse al final de la semana señalada, una vez que se haya completado la producción correspondiente a esa semana y antes de iniciar la producción de la semana siguiente.



MIN-YO GARMENT COMPANY

Open Order File (Record of commitments)

	Week Order is Due										
Product	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thunder Orders	400										
Dragon Order 1											
Dragon Order 2											
Dragon Order 3											
Dragon Order 4											
Dragon Order 5											
Dragon Order 6											
Dragon Order 7											
Dragon Order 8											
Dragon Order 9											
Dragon Order 10											
Dragon Order 11											
Dragon Order 12											
Dragon Order 13											
Dragon Order 14											
Dragon Order 15											
Dragon Order 16											
Dragon Order 17											
Dragon Order 18											
Dragon Order 19											
Dragon Order 20											
Dragon Order 21											
Dragon Order 22											
Dragon Order 23											
Dragon Order 24											
Dragon Order 25											
Dragon Order 26											
Dragon Order 27											
Dragon Order 28											

ropa", que maneja un operario en cada uno de los tres turnos de trabajo. Este proceso a máquina es capaz de confeccionar todas las prendas que produce Min-Yo; sin embargo, el tiempo necesario para cambiar los ajustes, a fin de pasar de una prenda a otra, consume una parte sustancial de la capacidad. La política de la compañía es que la máquina trabaje tres turnos diarios, cinco días a la semana. Si no hay suficiente trabajo para mantener ocupada la máquina, los trabajadores permanecen ociosos porque Min-Yo se ha comprometido formalmente a no despedir jamás a ninguno de ellos. En la misma tónica, la empresa tiene la política de no trabajar ningún fin de semana. Por consiguiente, la capacidad del proceso es de 5 días × 24 horas = 120 horas por semana. Considerando que el salario es de $10 por hora, la empresa está comprometida a cubrir un costo fijo de $10 × 120 = $1200 a la semana por concepto de mano de obra. Una vez que la máquina ha sido preparada para confeccionar un tipo de prenda en particular, puede fabricarla a razón de 10 piezas por hora, cualquiera que sea su tipo. El costo del material para cada prenda, independientemente del tipo de ésta, es de $4. Las materias primas nunca son un problema y es posible conseguirlas de un día para otro.

Programación de la fábrica de ropa

En Min-Yo Garment, la programación se realiza semanalmente, una vez que la producción de la semana se ha finalizado y enviado, después de la llegada de nuevos pedidos de los clientes y antes de iniciar la producción correspondiente a la siguiente semana. Como resultado de la programación se generan dos documentos.

El primero es un programa de producción, que se ilustra en la figura 7.13. El programa muestra lo que la gerencia quiere que el proceso de la fábrica de ropa produzca en una semana determinada. Se requieren dos entradas en la hoja de cálculo por cada producto que se va a fabricar en la semana. Éstas se asientan en las celdas sombreadas en gris. La primera entrada es la cantidad de producción. En la figura 7.13 el programa muestra que Min-Yo produjo cantidades de 800 unidades de la camisa Muscle y 200 unidades de la camisa Thunder la semana pasada. La segunda entrada es un "1" si es necesario preparar la máquina para que ésta produzca un producto determinado o dejar la cela "en blanco" si no se requiere hacer ningún ajuste. La figura 7.13 muestra que la semana pasada fue preciso realizar cambios para las corridas de producción de las camisas Muscle y Thunder. La información sobre estos cambios es importante porque, al final de la semana, el proceso de la fábrica de ropa se queda preparado para el último producto que elaboró. Si se fabrica el mismo producto en primer término la semana entrante, no se requerirá ningún cambio o ajuste. La gerencia debe llevar el control de la secuencia de producción cada semana para aprovechar estos ahorros. La única excepción de esta regla es la camisa Dragón, ya que por sus características únicas sólo se produce sobre pedido y siempre requiere ajustes especiales. En la semana 0, Min-Yo no produjo ninguna camisa Dragón. Por último, la hoja de cálculo se usa para estimar las horas que requiere el programa propuesto. Los tiempos de preparación de la máquina para la producción de camisas Muscle, Thunder y Dragón son de 8, 10 y 25 horas, respectivamente. Debido a que el proceso de la fábrica de ropa produce 10 prendas por hora, sin importar el tipo, las horas de producción que se necesitan para las camisas Muscle son: 8 + 800/10 = 88 horas, y las horas de producción para las camisas Thunder son: 10 + 200/10 = 30 horas, como se muestra en la figura 7.13. El tiempo total de operación del proceso de la fábrica de ropa para elaborar todos los productos en una semana no puede rebasar 120 horas. La hoja de cálculo no le permitirá continuar si infringe esta restricción.

El segundo documento es un estado semanal de pérdidas y ganancias (PyG), que muestra las ventas y costos de producción,

FIGURA 7.13 | Programa de producción de Min-Yo

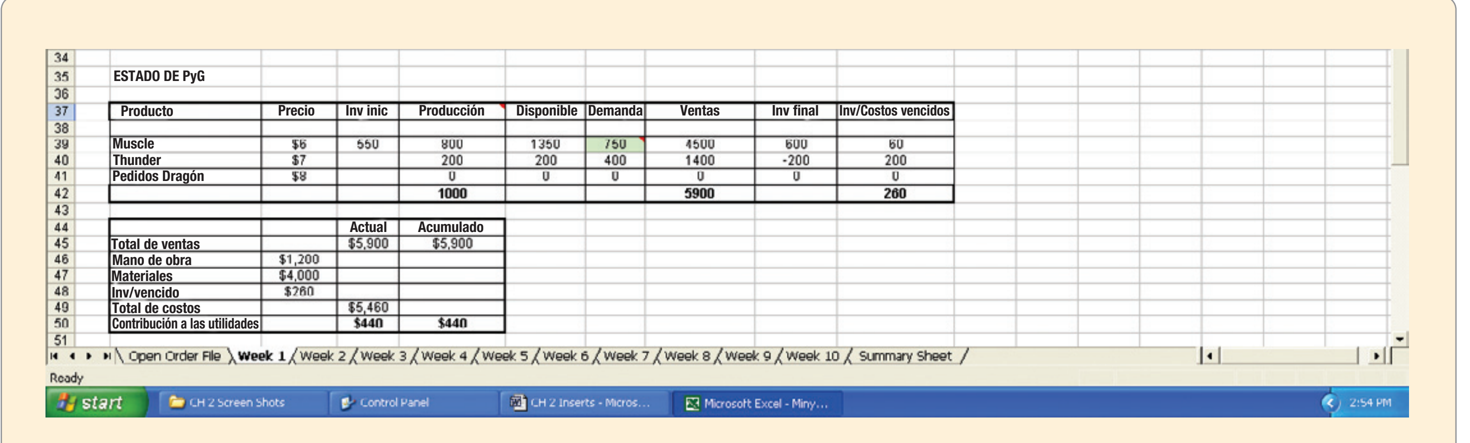
Microsoft Excel - Minyo Tables_Screen Shots

MIN-YO GARMENT COMPANY

PRODUCTION SCHEDULE

The 2 inputs to this table are:
1. The quantity you decide to produce this time period
2. Whether there is a setup/changeover required (1 or 0)

B	C	D	E	F	G	H	I	J
PRODUCT								
	Changeover	Quantity						
Muscle	1	800						
Hours		88						
Thunder	1	200						
Hours		30						
				Changeover	Quantity		Changeover	Quantity
Dragon Order 1			Dragon Order 11			Dragon Order 21		
Dragon Order 2			Dragon Order 12			Dragon Order 22		
Dragon Order 3			Dragon Order 13			Dragon Order 23		
Dragon Order 4			Dragon Order 14			Dragon Order 24		
Dragon Order 5			Dragon Order 15			Dragon Order 25		
Dragon Order 6			Dragon Order 16			Dragon Order 26		
Dragon Order 7			Dragon Order 17			Dragon Order 27		
Dragon Order 8			Dragon Order 18			Dragon Order 28		
Dragon Order 9			Dragon Order 19			Dragon Order 29		
Dragon Order 10			Dragon Order 20			Dragon Order 30		
Total Dragon Hours		0						
Total Dragon Production		0						
Total Hours scheduled		118						
Is production within capacity?		Yes						



ESTADO DE PyG

Producto	Precio	Inv inic	Producción	Disponible	Demanda	Ventas	Inv final	Inv/Costos vencidos
Muscle	$6	550	800	1350	750	4500	600	60
Thunder	$7		200	200	400	1400	-200	200
Pedidos Dragón	$8		0	0	0	0	0	0
			1000			5900		260

		Actual	Acumulado
Total de ventas		$5,900	$5,900
Mano de obra	$1,200		
Materiales	$4,000		
Inv/vencido	$260		
Total de costos		$5,460	
Contribución a las utilidades		$440	$440

FIGURA 7.14 | Estado de PyG de Min-Yo

Notas:

- La cantidad vencida de camisas se refiere a las camisas que no se enviaron en la fecha prometida, y aparece como un número negativo en la columna "Inv final".
- Disponible = Inventario inicial + Producción
- Ventas = Demanda × Precio cuando la demanda < disponible; en otras condiciones, Disponible × Precio.
- Costo de inventario = $0.10 multiplicado por el número de camisas en el inventario. Los costos vencidos equivalen a la cantidad vencida multiplicada por la penalización ($1 para las camisas Thunder; $2 para las camisas Dragón). Estos dos costos se combinan en la columna "Inv/Costos vencidos".

e incluso los cargos por penalización y los costos de manejo de inventario, como se muestra en la figura 7.14. El costo de manejo de inventario de *cualquier tipo de producto* es de $0.10 por camisa, por cada semana que permanezca en inventario después de realizar los embarques correspondientes a esa semana. La hoja de cálculo calcula automáticamente el estado de PyG, que se vincula con el archivo de pedido abierto y el programa de producción después de conocer la demanda real de camisas Muscle. La figura 7.14 muestra que la demanda real de camisas Muscle para la semana pasada fue de 750 camisas.

La simulación

En Min-Yo Garment Company, el comité ejecutivo se reúne cada semana para examinar las posibilidades de nuevos pedidos y la carga de trabajo del proceso de la fábrica de ropa. El comité ejecutivo está formado por representantes de la alta dirección de las áreas de finanzas, marketing y operaciones. Se le pedirá que participe en un equipo y desempeñe el papel de un miembro del comité ejecutivo en el aula. Durante este ejercicio, usted deberá decidir hasta cuándo deberán hacerse planes para el futuro. Algunas decisiones, como los mercados que se desea explotar, son a largo plazo. Antes de que empiece la clase, sería conveniente que pensara en los mercados y sus implicaciones en el proceso de manufactura. Otras decisiones son a corto plazo y afectan la capacidad de la empresa para cumplir con sus obligaciones. En el aula, la simulación procederá como sigue:

1. Use la hoja de cálculo que contiene las tablas de Min-Yo, en OM Explorer, incluido en el CD-ROM del estudiante, en inglés. Esta hoja se encuentra en el menú *Solver,* bajo Operations Strategy (Estrategia de operaciones). Comenzará por especificar el programa de producción para la semana 1, con base en los pronósticos correspondientes a dicha semana que se indican en la narrativa del caso para las camisas Muscle y la información adicional sobre los pedidos nuevos y existentes de camisas personalizadas que le proporcionará su profesor. Esta decisión deberá tomarla en conjunto con sus colegas del comité ejecutivo en clase.
2. Cuando todos los equipos hayan terminado sus planes de producción para la semana 1, el profesor proporcionará las demandas reales de las camisas Muscle en dicha semana. Introduzca esa cantidad en el estado de PyG, en la hoja de cálculo, para la semana 1.
3. Después de completar el estado de PyG para la semana 1, el profesor anunciará las nuevas solicitudes de pedidos de camisas Thunder y Dragón que deberán enviarse en la semana 2 y las siguientes.
4. Usted deberá examinar sus solicitudes de pedidos, aceptar las que desea atender y rechazar las demás. Agregue a su archivo de pedido abierto los pedidos que decida aceptar para entregarlos a los clientes en periodos futuros. Anote la cantidad en la celda que representa la semana en que deberá entregar el pedido. A partir de entonces, se habrá comprometido en forma irrevocable con esos pedidos y las consecuencias que éstos conllevan.
5. Así pues, deberá preparar un nuevo programa de producción para especificar lo que desea que el proceso de la fábrica de ropa produzca durante la siguiente semana (que en ese momento será la semana 2).
6. El profesor impondrá un límite de tiempo para cada periodo de la simulación. Cuando se haya cumplido el tiempo límite para un periodo, la simulación pasará a la siguiente semana. Cada semana, la hoja de cálculo actualizará automáticamente la producción y la información financiera en la hoja de resumen.

CASO

Fitness Plus, Parte A

En el Instructor's Manual *(Manual del instructor) aparece el caso Fitness Plus, parte B, en el cual se exploran alternativas para la expansión de una nueva instalación en el centro de la ciudad. Si le interesa este tema, pida a su profesor una reseña preliminar.*

Fitness Plus es un club deportivo y gimnasio que presta servicios completos en Greensboro, Carolina del Norte. El club ofrece una amplia gama de instalaciones y servicios para tres actividades principales: acondicionamiento físico, recreación y relajación. Las actividades de acondicionamiento físico se realizan generalmente en cuatro áreas del club: el salón de aeróbicos, que tiene cabida para 35 personas por clase; una sala equipada para ejercicios con pesas; una sala de entrenamiento que cuenta con 24 aparatos Nautilus y un gran salón para ejercicios cardiovasculares con 29 piezas de equipo especializado. Este equipo incluye nueve escaladoras, seis caminadoras, seis bicicletas fijas *life-cycle*, tres bicicletas *airdyne*, dos máquinas cross-aerobics, dos remadoras y una trepadora. Las instalaciones recreativas comprenden ocho canchas de racquetball, seis canchas de tenis y una piscina grande al aire libre. Fitness Plus también patrocina equipos de softball, voleibol y natación, pertenecientes a las ligas recreativas de la ciudad. La relajación se practica mediante clases de yoga que se imparten dos veces por semana en el salón de aeróbicos, tinas de hidromasaje instaladas en todos los vestuarios y un terapeuta especializado en masajes.

Fitness Plus abrió sus puertas en 1995 en una vasta zona suburbana de oficinas. En los dos primeros años tenía pocos socios y la utilización de sus instalaciones era escasa. Para 1997, el número de socios había aumentado, porque entonces la buena condición física empezó a desempeñar un papel importante en la vida de un número cada día mayor de personas. En virtud del crecimiento del número de socios, la utilización de las instalaciones del club aumentó. Los registros indican que, en 2000, entraba en el club un promedio de 15 socios por hora durante un día típico. Por supuesto, el número real de socios por hora variaba según el día y la hora. Algunos días, en períodos de poca actividad, entraban solamente entre seis y ocho socios por hora. En una hora pico, como los lunes de 4:00 a 7:00 de la tarde, la afluencia llegaba a ser de hasta 40 socios por hora. El club está abierto desde las 6:30 de la mañana hasta las 11:00 de la noche, de lunes a jueves. Los viernes y sábados, el club cierra a las 8:00 de la noche y el horario del domingo es de mediodía a 8:00 de la noche.

A medida que la popularidad del ejercicio para conservar la salud y la buena condición física siguió creciendo, la popularidad de Fitness Plus también aumentó. Para mayo de 2005, el número promedio de socios que llegaban al club en una hora, en un día típico, ya se había elevado a 25. Durante el periodo más bajo, la tasa era de 10 socios por hora; en los periodos pico, se registraban 80 socios por hora para usar las instalaciones. Este crecimiento provocó quejas de los socios por la aglomeración y la falta de equipo disponible. La mayoría de las quejas se centraba en las áreas de equipo Nautilus, cardiovascular y acondicionamiento aeróbico. Los propietarios comenzaron a preguntarse si el club era en verdad demasiado pequeño para la cantidad de socios que tenía. Según investigaciones pasadas, los usuarios se ejercitaban, en promedio, 60 minutos por visita. Los datos obtenidos de encuestas realizadas entre los socios mostraron el siguiente patrón de uso de las instalaciones: 30% de ellos hacía ejercicios aeróbicos, 40% usaba el equipo cardiovascular, 25% los aparatos Nautilus, 20% se ejercitaba con pesas, 15% usaba las canchas de racquetball y 10% las de tenis. Los dueños desean saber si podrían usar esta información para calcular con cuánta eficiencia se utiliza la capacidad existente.

Si los niveles de capacidad eran insuficientes, aquél era el momento de decidir qué hacer. Ya estaban en mayo y cualquier expansión de las instalaciones existentes requeriría cuatro meses por lo menos. Los propietarios sabían que enero era siempre un mes pico para las inscripciones de socios y que la nueva capacidad tendría que estar lista para entonces. Pero también tenían que considerar otros factores. El área estaba creciendo, tanto en términos de población como geográficamente. Acababan de remozar el centro de la ciudad y muchas nuevas oficinas y empresas habían vuelto a instalarse ahí, dando lugar a un resurgimiento de la actividad.

Con este crecimiento aumentó la competencia. Un nuevo YMCA ofreció la gama completa de servicios a bajo costo. Dos nuevas instalaciones de salud y acondicionamiento físico se habían inaugurado el año anterior en locales que quedaban a 10 y 15 minutos de Fitness Plus. El primero, llamado Oasis, estaba enfocado en los adultos jóvenes y prohibía la entrada a menores de 16 años. La otra instalación, el Gold's Gym, ofrecía solamente un excelente entrenamiento cardiovascular y ejercicio con pesas.

Conforme los propietarios iban reflexionando sobre la situación, surgieron muchas preguntas: ¿había restricciones en las capacidades de las instalaciones existentes? De ser así, ¿dónde? Si se requería una expansión de la capacidad, ¿sería conveniente ampliar las instalaciones existentes? A causa de lo limitado del espacio disponible en el predio actual, para expandir algunos servicios habría que reducir la capacidad de otros. Finalmente, por el aumento de la competencia y el desarrollo de la zona del centro, ¿era el momento de abrir una instalación para atender ese mercado? Una instalación nueva requeriría seis meses para su renovación y no se disponía de recursos financieros para hacer ambas cosas.

PREGUNTAS

1. ¿Qué método usaría para medir la capacidad de Fitness Plus? ¿Ha alcanzado Fitness Plus su capacidad plena?
2. ¿Qué estrategia de capacidad sería apropiada para Fitness Plus? Justifique su respuesta.
3. ¿Cómo relacionaría usted la decisión de capacidad tomada por Fitness Plus con otros tipos de decisiones de operación?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bakke, Nils Arne y Ronald Hellberg, "The Challenges of Capacity Planning", *International Journal of Production Economics,* volúmenes 31–30, 1993, pp. 243–264.

Bowman, Edward H., "Scale of Operations—An Empirical Study", *Operations Research,* junio de 1958, pp. 320–328.

Boyle, Matthew, "Why FedEx Is Flying High", *Fortune*, noviembre de 2004, pp. 145–150.

Goldratt, E. M. y J. Cox, *The Goal*, 2a. edición revisada, Nueva York, North River Press, 1992.

Hammesfahr, R., D. Jack, James A. Pope y Alireza Ardalan, "Strategic Planning for Production Capacity", *International Journal of Operations and Production Management,* volumen 13, número 5, 1993, pp. 41–53.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel,* 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

"How Goliaths Can Act Like Davids", *Business Week/Enterprise,* 1993, pp. 192–200.

"Intel's $10 Billion Gamble", *Fortune*, 11 de noviembre de 2002, pp. 90–102.

Klassen, Kenneth J. y Thomas R. Rohleder, "Combining Operations and Marketing to Manage Capacity and Demand in Services", *The Service Industries Journal*, volumen 21, número 2, 2001, pp. 1–30.

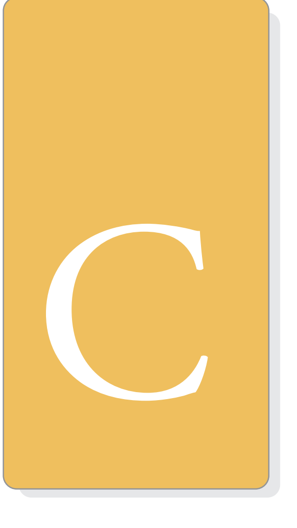
"Logan's Roadhouse", *Business Week,* 27 de mayo de 1996, p. 113.

Ritzman, Larry P. y M. Hossein Safizadeh, "Linking Process Choice with Plant-Level Decisions About Capital and Human Resources", *Production and Operations Management*, volumen 8, número 4, 1999, pp. 374–392.

Simons, Jacob, Jr. y Wendell P. Simpson III, "An Exposition of Multiple Constraint Scheduling as Implemented in the Goal System (Formerly Disaster™)", *Production and Operations Management*, volumen 8, número 1, primavera de 1997, pp. 3–22.

Srikanth, M. L., Cavallaro, H. E. y Cavallaro, H. E., Jr., *Regaining Competitiveness; Putting the Goal to Work*, 2a. edición revisada, Guilford, CT, Spectrum Publishing Company, 1995.

Srikanth, Mokshagundam L. y Michael Umble, *Synchronous Management: Profit-Based Manufacturing for the 21st Century*, volumen 1, Guilford, CT, Spectrum Publishing Company, 1997.



SUPLEMENTO

Filas de espera

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este suplemento, usted podrá:

1. Identificar los elementos de un problema de filas de espera en una situación real.
2. Describir los modelos de filas de espera con un solo servidor, múltiples servidores y fuente finita.
3. Explicar cómo se usan los modelos de filas de espera para estimar las características de operación de un proceso.
4. Explicar cómo se usan las filas de espera para tomar decisiones administrativas.

Cualquiera que haya tenido que esperar el cambio de luces en un semáforo, en McDonald's o en una oficina del registro civil, ha vivido la dinámica de las filas de espera. Tal vez uno de los mejores ejemplos de administración eficaz de filas de espera sea el que se observa en Walt Disney World. Es posible que en un día lleguen solamente 25,000 visitantes al parque, pero al día siguiente pueden arribar 90,000. Un análisis cuidadoso de los flujos de los procesos, la tecnología del equipo para el traslado de personas (manejo de materiales), la capacidad y la distribución física, permite a esta organización mantener los tiempos de espera en niveles aceptables para el público que desea entrar a las diversas atracciones.

El análisis de filas de espera es de interés para los gerentes porque afecta el diseño de los procesos, la planificación de la capacidad, el desempeño de los procesos y, en última instancia, el desempeño de la cadena de valor. En este suplemento se explicará por qué se forman las filas de espera, las aplicaciones de los modelos de filas de espera en la administración de operaciones y la estructura de los modelos de filas de espera. También se hablará de las decisiones que los gerentes toman con base en esos modelos. Las filas de espera también se analizan usando simulación por computadora. El software como SimQuick, un paquete de simulación incluido en el CD-ROM del estudiante, o las hojas de cálculo de Excel pueden usarse para analizar los problemas que contiene este suplemento.

POR QUÉ SE FORMAN LAS FILAS DE ESPERA

fila de espera

Uno o más clientes que esperan a recibir un servicio

Se conoce como **fila de espera** una hilera formada por uno o varios "clientes" que esperan a recibir un servicio. Los clientes pueden ser personas u objetos inanimados, como máquinas que requieren mantenimiento, pedidos de mercancías en espera de ser enviados, o artículos del inventario en espera de ser utilizados. Las filas de espera se forman debido a un desequilibrio temporal entre la demanda de un servicio y la capacidad del sistema para suministrarlo. En la mayoría de los problemas de filas de espera que se presentan en la vida real, la tasa de demanda varía; es decir, los clientes llegan a intervalos imprevisibles. Lo más común es que también haya variaciones en la tasa de producción del servicio, dependiendo de las necesidades del cliente. Suponga que los clientes de un banco llegan a una tasa promedio de 15 por hora durante todo el día, y que el banco tiene capacidad para atender a 20 clientes por hora, en promedio. ¿Por qué podría formarse alguna vez una fila de espera en ese banco? Las respuestas son que la tasa de llegada de los clientes varía en el transcurso del día y que el tiempo necesario para atender a cada uno de ellos también es variable. A mediodía, es factible que lleguen 30 clientes al banco. Algunos querrán realizar transacciones complicadas que requieran tiempos de procesamiento superiores al promedio. La fila de espera puede aumentar a 15 clientes durante ciertos periodos, antes de desaparecer finalmente. A pesar de que el gerente del banco haya previsto una capacidad más que suficiente, considerada en promedio, es posible que se sigan formando filas de espera.

Las filas de espera pueden formarse a pesar de que el tiempo necesario para atender a los clientes sea constante. Por ejemplo, un tren subterráneo está controlado por computadoras para que llegue puntualmente a las distintas estaciones de su ruta. Cada tren está programado para llegar a una estación, por ejemplo, cada 15 minutos. A pesar de que el tiempo de servicio es constante, se forman filas de espera cuando los pasajeros tienen que esperar al siguiente tren o no logran abordar alguno a causa del gran número de personas que se aglomeran en las estaciones en las horas más agitadas del día. Por consiguiente, en este caso, la variabilidad de la tasa de demanda determina la longitud de las filas de espera. En general, si no hay variabilidad en las tasas de demanda o servicio y se cuenta con capacidad suficiente, no se formarán filas de espera.

USOS DE LA TEORÍA DE FILAS DE ESPERA

La teoría de filas de espera es aplicable a empresas de servicio y manufactureras, porque relaciona la llegada de los clientes y las características de procesamiento del sistema de servicio con las características de la producción de dicho sistema. En esta exposición, se usará el término *servicio* en sentido amplio, es decir, como la acción de realizar un trabajo para un cliente. El sistema de servicio puede consistir en la operación de cortar el cabello en una peluquería, resolver las quejas de los clientes, o procesar una orden de producción de partes en una cierta máquina. Otros ejemplos de clientes y servicios son las filas de los espectadores que se forman frente a la taquilla de un teatro para comprar entradas, los camiones que aguardan para ser descargados en un almacén, las máquinas en espera de ser reparadas por una cuadrilla de mantenimiento y los pacientes que hacen antesala para ser examinados por un médico. Cualquiera que sea la situación, los problemas de filas de espera tienen varios elementos en común.

ESTRUCTURA DE LOS PROBLEMAS DE FILAS DE ESPERA

población de clientes

Insumo que genera clientes potenciales.

instalación de servicio

Una persona (o una cuadrilla), una máquina (o grupo de máquinas) o ambas cosas, si así se requiere para proveer el servicio que el cliente solicita.

regla de prioridad

regla para seleccionar al siguiente cliente que será atendido por la instalación de servicio.

sistema de servicio

El número de filas y la distribución de las instalaciones.

El análisis de los problemas de filas de espera comienza con una descripción de los elementos básicos de la situación. Cada situación específica tendrá características diferentes, pero cuatro elementos son comunes a todas ellas:

1. Un insumo, o **población de clientes**, que genera clientes potenciales.
2. Una fila de espera formada por los clientes.
3. La **instalación de servicio**, constituida por una persona (o una cuadrilla), una máquina (o grupo de máquinas) o ambas cosas, si así se requiere para proveer el servicio que el cliente solicita.
4. Una **regla de prioridad** para seleccionar al siguiente cliente que será atendido por la instalación de servicio.

La figura C.1 ilustra estos elementos básicos. Los triángulos, círculos y cuadrados sirven para mostrar una diversidad de clientes con necesidades diferentes. El **sistema de servicio** describe el número de filas y la distribución de las instalaciones. Una vez que se ha prestado el servicio, los clientes atendidos salen del sistema.

POBLACIÓN DE CLIENTES

La fuente de insumos para el sistema de servicio es una población de clientes. Si el número potencial de nuevos clientes para el sistema de servicio resulta afectado notablemente por el número de

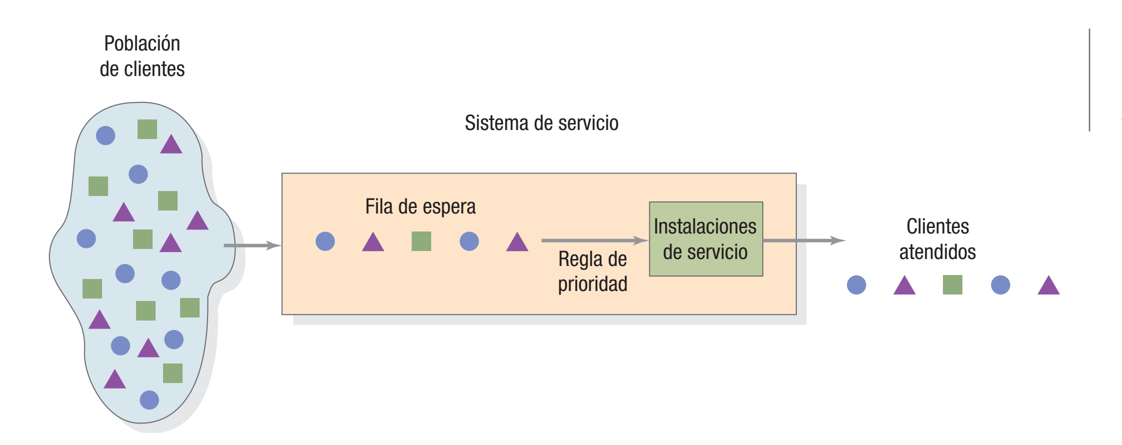


FIGURA C.1

Elementos básicos de los modelos de filas de espera

clientes que ya se encuentran en el sistema, se dice que esa fuente de insumos es *finita*. Por ejemplo, suponga que a una cuadrilla de mantenimiento se le asigna la responsabilidad de reparar 10 máquinas. La población de clientes para la cuadrilla de mantenimiento es de 10 máquinas en buen estado de funcionamiento. Esa población genera los clientes de la cuadrilla de mantenimiento como una función de las tasas de falla de las máquinas. A medida que un mayor número de máquinas falla y entra al sistema de servicio, ya sea para esperar su turno o para ser reparada de inmediato, la población de clientes se va haciendo más pequeña y se reduce la tasa a la que dicha población es capaz de generar otro cliente. En consecuencia, se dice que la población de clientes es finita.

Por otro lado, una población de clientes *infinita* es aquella en la que el número de clientes que entran al sistema no afecta la tasa a la cual dicha población genera nuevos clientes. Por ejemplo, considere una operación de ventas por correo para la cual la población de clientes está constituida por los compradores que han recibido un catálogo de los productos que vende la compañía. En virtud de que la población de clientes es muy grande y sólo una pequeña fracción de los compradores hace pedidos en un momento determinado, el número de nuevos pedidos que genera no resulta afectado en forma notable por el número de pedidos que están en espera de servicio o que se procesan en el sistema de servicio. En este caso, se dice que la población de clientes es infinita.

Los clientes de las filas de espera pueden ser *pacientes* o *impacientes*, lo cual no tiene nada que ver con el florido lenguaje que algún cliente que espera mucho tiempo en una fila, durante un día caluroso, podría usar. En el contexto de los problemas de filas de espera, un cliente paciente es el que entra al sistema y permanece allí hasta que lo atienden; un cliente impaciente es el que decide no entrar al sistema (lo evita) o sale de éste antes de que lo atiendan (renuncia). En el caso de los métodos utilizados en este suplemento, se supondrá, para efectos de simplificación, que todos los clientes son pacientes.

EL SISTEMA DE SERVICIO

El sistema de servicio puede describirse en términos del número de filas y la distribución de las instalaciones.

Número de filas Las filas de espera se diseñan en forma de *una sola fila* o *filas múltiples*. La figura C.2 muestra un ejemplo de cada una de esas distribuciones. En general, se utiliza una sola fila en mostradores de aerolíneas, ventanillas de bancos y algunos restaurantes de comida rápida, mientras que las filas múltiples son comunes en tiendas de abarrotes, operaciones en ventanillas bancarias para automovilistas y tiendas de descuento. Cuando se dispone de varios servidores y cada uno de ellos puede manejar transacciones de tipo general, la distribución de una sola fila mantiene a todos ellos uniformemente ocupados y proyecta en los clientes una sensación de igualdad y justicia. Éstos piensan que serán atendidos por orden de llegada, y no por el grado en que hayan podido adivinar los diferentes tiempos de espera al formarse en una fila en particular. El diseño de filas múltiples es preferible cuando algunos de los servidores brindan un conjunto de servicios limitado. En esta distribución, los clientes eligen los servicios que necesitan y esperan en la fila donde se suministra dicho servicio, como sucede en las tiendas de abarrotes en las que hay filas especiales para los clientes que pagan en efectivo o para los que compran menos de diez artículos.

Algunas veces, los elementos que esperan su turno no forman “filas” en el sentido estricto de la palabra. Las máquinas que necesitan reparaciones en el taller de producción de una fábrica pueden permanecer en sus respectivos sitios y la cuadrilla de mantenimiento es la que tiene que acudir a cada lugar. No obstante, se puede considerar que esas máquinas forman una sola fila o filas múltiples, según el número de cuadrillas de reparación y sus respectivas especialidades. Asimismo, los usuarios que llaman por teléfono para pedir un taxi también forman una fila, aunque cada uno se encuentre en un lugar diferente.

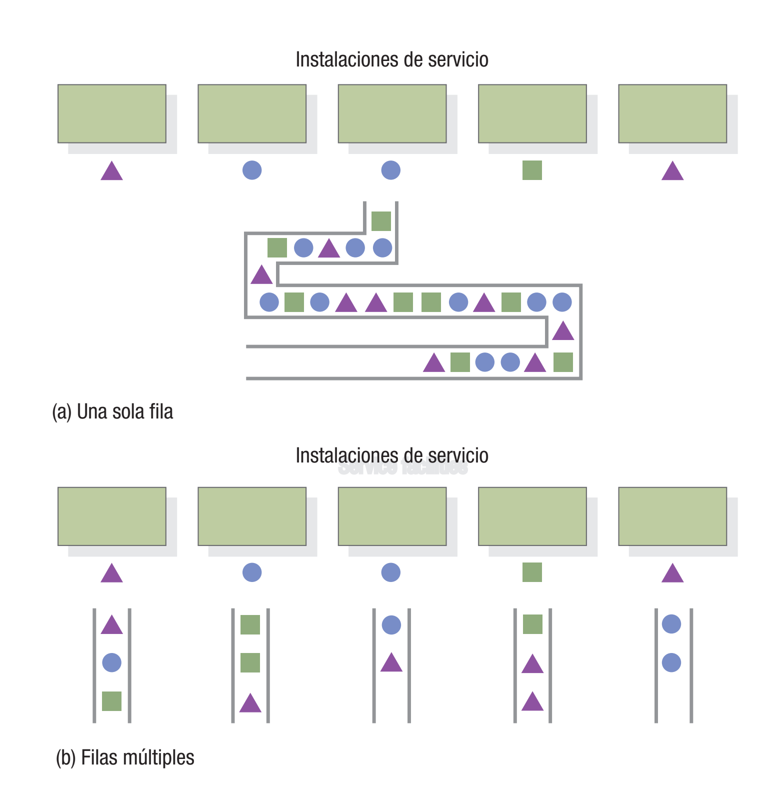


FIGURA C.2
Distribuciones de filas de espera

canal
Una o más instalaciones necesarias para proporcionar un servicio determinado.

fase
Un solo paso en la prestación de un servicio.

Distribución de instalaciones de servicio Las instalaciones de servicio consisten en el personal y el equipo necesario para proporcionar dicho servicio al cliente. La distribución de las instalaciones de servicio se define por el número de canales y fases. Un **canal** es una o más instalaciones necesarias para proporcionar un servicio determinado. Una **fase** es un solo paso en la prestación del servicio. Algunos servicios requieren una sola fase, en tanto que otros necesitan una secuencia de fases. En consecuencia, una instalación de servicio usa alguna combinación de canales y fases. Los gerentes deben elegir una distribución con base en el volumen de clientes y el carácter de los servicios proporcionados. La figura C.3 muestra algunos ejemplos de los cinco tipos básicos de distribuciones de las instalaciones de servicio.

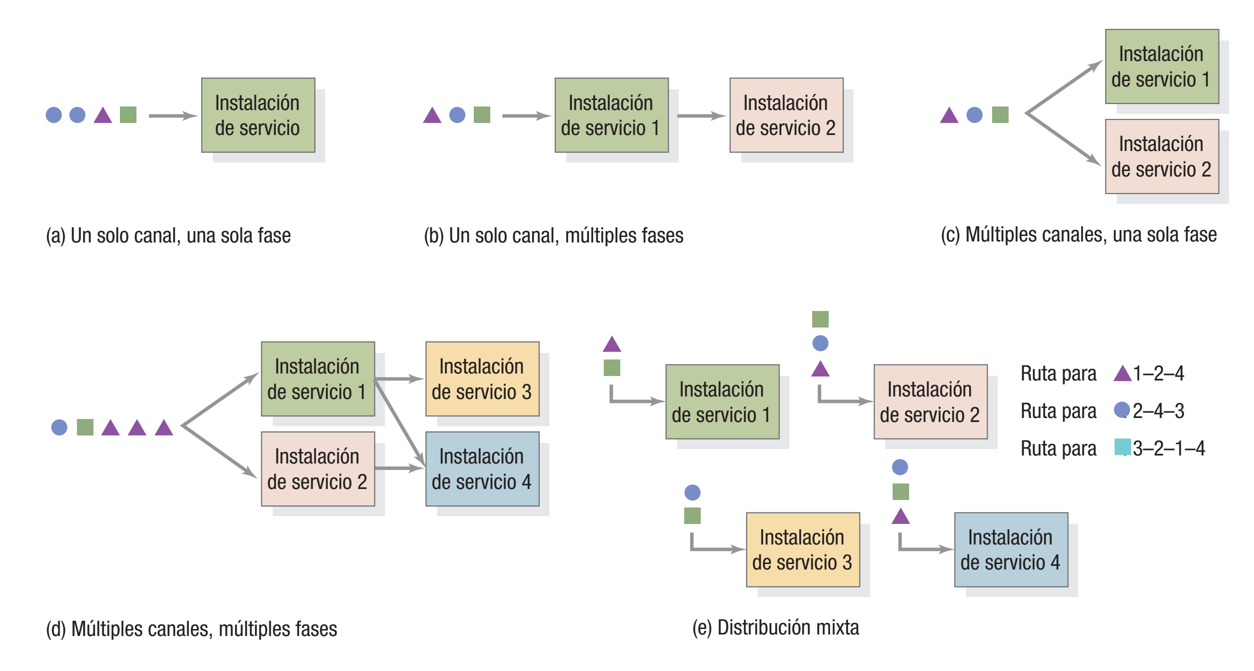


FIGURA C.3 | Ejemplos de distribuciones de instalaciones de servicio

En el sistema de *un solo canal y una sola fase*, todos los servicios solicitados por un cliente pueden proporcionarse en una instalación con un solo servidor. En ese caso, los clientes forman una sola fila y van pasando uno por uno a través de la instalación de servicio. Ejemplos de esto son los servicios de lavado de automóviles donde los conductores no necesitan bajar de sus vehículos, o cualquier máquina en la que deban procesarse varios lotes de partes.

La distribución de *un solo canal y múltiples fases* se usa cuando es más conveniente que los servicios se brinden en secuencia por varias instalaciones, pero el volumen de clientela u otras restricciones limitan el diseño a un solo canal. Los clientes forman una sola fila y avanzan en sucesión ordenada de una instalación de servicio a la siguiente. Un ejemplo de esta distribución son los McDonald's para automovilistas, donde la primera instalación toma el pedido, la segunda lo cobra y la tercera entrega los alimentos.



Pasajeros esperan formados en fila para comprar sus boletos en la estación Grand Central de la ciudad de Nueva York. Éste es un ejemplo de un servicio diseñado en múltiples canales y una sola fase.

La distribución de *múltiples canales y una sola fase* se usa cuando la demanda es suficientemente grande para justificar que el mismo servicio se brinde en más de una instalación o cuando los servicios ofrecidos por las instalaciones son diferentes. Los clientes forman una o varias filas, dependiendo del diseño. En el diseño de una sola fila, los clientes son atendidos por el primer servidor disponible, como sucede en los bancos. Si cada canal tiene su propia fila de espera, los clientes aguardan hasta que el servidor de su respectiva fila puede atenderlos, como sucede en los denominados autobancos.

La distribución de *múltiples canales y múltiples fases* se presenta cuando los clientes pueden ser atendidos por una de las instalaciones de la primera fase, pero después requieren servicios de una instalación de la segunda fase, y así sucesivamente. En algunos casos, los clientes no pueden cambiar de canales después de iniciado el servicio; en otros sí. Un ejemplo de esta distribución son las lavanderías automáticas. Las lavadoras son las instalaciones de la primera fase y las secadoras son las instalaciones de la segunda fase. Algunas lavadoras y secadoras están diseñadas para recibir cargas de mayor volumen, con lo cual se brinda al cliente la posibilidad de elegir entre varios canales.

En el problema más complejo de filas de espera intervienen clientes cuyos servicios requeridos tienen secuencias únicas; por consiguiente, el servicio no puede dividirse claramente en distintas fases. En esos casos se utiliza una distribución *mixta*. En este tipo de distribución, las filas de espera se forman frente a cada instalación, como en un taller de producción intermitente, donde cada trabajo personalizado tal vez requiera el uso de diversas máquinas y diferentes rutas.

REGLA DE PRIORIDAD

La regla de prioridad determina a qué cliente se deberá atender a continuación. En la mayoría de los sistemas de servicio que conocemos, se aplica la regla de "el que llega primero tiene prioridad" (FCFS, del inglés *first-come first-served*). El cliente que se encuentra en el primer lugar de la fila de espera tiene la más alta prioridad, y el que llega al último tiene la prioridad más baja. En otras disciplinas para determinar órdenes de prioridad, se concede la preferencia al cliente que tiene la fecha prometida de vencimiento más próxima (EDD, del inglés *earliest due date*) o al que corresponda el tiempo de procesamiento más corto (SPT, del inglés *shortest processing time*).[1]

Una **disciplina prioritaria** es una regla que permite a un cliente de más alta prioridad interrumpir el servicio de otro cliente. Por ejemplo, en la sala de urgencias de un hospital, se atiende de primero a los pacientes que llegan con heridas que representan amenazas más graves para la vida, sin importar el orden en que hayan llegado. La construcción de modelos de sistemas que tienen disciplinas de prioridad complejas se realiza generalmente por medio de una simulación por computadora.

disciplina prioritaria
Regla que permite a un cliente de más alta prioridad interrumpir el servicio de otro cliente.

> DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDADES <

Las fuentes de variación en los problemas de filas de espera provienen del carácter aleatorio de la llegada de los clientes y de las variaciones que se registran en los tiempos requeridos para proporcionar el servicio. Cada una de esas fuentes se describe mediante una distribución de probabilidades.

[1]En este suplemento se centrará la atención en la regla FCFS, y en el capítulo 16, "Programación", se hablará de la EDD y el SPT.

DISTRIBUCIÓN DE LLEGADAS

La llegada de clientes a las instalaciones de servicio es aleatoria. La variabilidad en los intervalos de llegada de los clientes a menudo se describe por medio de una distribución de Poisson, que especifica la probabilidad de que n clientes lleguen en T periodos de tiempo

$$P_n = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T} \quad \text{para } n = 0, 1, 2, \ldots$$

donde

P_n = probabilidad de n llegadas en T periodos de tiempo
λ = número promedio de llegas de clientes por periodo
e = 2.7183

La media de la distribución de Poisson es λT, y la varianza también es λT. La distribución de Poisson es una distribución discreta; es decir, las probabilidades corresponden a un número específico de llegadas por unidad de tiempo.

EJEMPLO C.1 Cálculo de la probabilidad de llegadas de clientes

La gerencia está rediseñando el proceso de atención a clientes en una tienda departamental grande. Es importante atender a cuatro clientes. Los clientes se presentan en el mostrador a razón de dos clientes por hora. ¿Qué probabilidad hay de que se presenten cuatro clientes durante una hora cualquiera?

SOLUCIÓN

En este caso, $\lambda = 2$ clientes por hora, $T = 1$ hora, y $n = 4$ clientes. La probabilidad de que lleguen cuatro clientes en una hora cualquiera es:

$$P_4 = \frac{[2(1)]^4}{4!} e^{-2(1)} = \frac{16}{24} e^{-2} = 0.090$$

Punto de decisión El gerente de la oficina de atención a clientes puede usar esta información para determinar las necesidades de espacio para el mostrador y el área de espera. Hay una probabilidad relativamente pequeña de que se presenten cuatro clientes en una hora cualquiera. En consecuencia, si se colocan dos o tres asientos para los clientes, la capacidad será más que suficiente, a menos que el tiempo requerido para atender a cada cliente sea prolongado. Se necesita un análisis más a fondo de los tiempos de servicio.

tiempos entre llegadas
El tiempo que transcurre entre la llegada de dos clientes sucesivos.

Otra forma de especificar la distribución de las llegadas consiste en hacerlo en términos de **tiempos entre llegadas** de clientes; es decir, el tiempo que transcurre entre la llegada de dos clientes sucesivos. Si la población de clientes los genera de acuerdo con una distribución de Poisson, la *distribución exponencial* describe la probabilidad de que el próximo cliente llegue durante los siguientes T periodos de tiempo. En virtud de que la distribución exponencial también describe los tiempos de servicio, los detalle de dicha distribución se examinarán en la siguiente sección.

DISTRIBUCIÓN DEL TIEMPO DE SERVICIO

La distribución exponencial describe la probabilidad de que el tiempo de servicio deL cliente en una instalación determinada no sea mayor que T periodos de tiempo. La probabilidad puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$$

donde

μ = número promedio de clientes que completan el servicio por periodo
t = tiempo de servicio del cliente
T = tiempo de servicio objetivo

La media de la distribución del tiempo de servicio es $1/\mu$, y la varianza es $(1/\mu)^2$. A medida que T se incrementa, la probabilidad de que el tiempo de servicio del cliente sea menor que T se va aproximando a 1.0.

Para simplificar, se considerará ahora una distribución de un solo canal y una sola fase.

Cálculo de la probabilidad del tiempo de servicio EJEMPLO **C.2**

La gerencia de la tienda departamental grande del ejemplo C.1 debe determinar si el empleado de atención a clientes necesita más capacitación. Este empleado puede atender, en promedio, a tres clientes por hora. ¿Qué probabilidad hay de que un cliente requiera menos de 10 minutos de servicio?

SOLUCIÓN

Es necesario expresar todos los datos en las mismas unidades de tiempo. Puesto que $\mu = 3$ clientes por hora, convertimos los minutos en horas, o sea, $T = 10$ minutos = 10/60 hora = 0.167 hora. Entonces

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-\mu T}$$

$$P(t \leq 0.167 \text{ hora}) = 1 - e^{-3(0.167)} = 1 - 0.61 = 0.39$$

Punto de decisión La probabilidad de que el empleado necesite sólo 10 minutos o menos no es alta, lo que abre la posibilidad de que los clientes puedan experimentar retrasos considerables. La gerencia debe pensar en proporcionar capacitación adicional al empleado para reducir el tiempo que se necesita para atender la solicitud de un cliente.

Algunas características de la distribución exponencial no siempre se ajustan a una situación real. El modelo de distribución exponencial se basa en la suposición de que cada tiempo de servicio es independiente de los tiempos que lo precedieron. Sin embargo, en la vida real, la productividad puede mejorar a medida que los servidores humanos aprenden a hacer mejor su trabajo. Otra suposición en la que se basa este modelo es que los tiempos de servicio muy pequeños, igual que los muy grandes, son posibles. No obstante, las situaciones de la vida real requieren a menudo un tiempo de duración fija para su puesta en marcha, algún límite para la duración total del servicio o un tiempo de servicio casi constante.

> EL USO DE MODELOS DE FILAS DE ESPERA PARA ANALIZAR OPERACIONES <

Los gerentes de operaciones suelen utilizar modelos de filas de espera para equilibrar las ventajas que podrían obtener incrementando la eficiencia del sistema de servicio y los costos que esto implica. Además, los gerentes deben considerar los costos de *no* mejorar el sistema: las filas de espera largas o los tiempos de espera prolongados provocan que los clientes eviten el sistema o renuncien a permanecer ahí. Por lo tanto, es preciso que los gerentes se interesen en las siguientes características de operación del sistema.

1. *Longitud de la fila.* El número de clientes que forman una fila de espera refleja una de estas dos condiciones: las filas cortas significan que el servicio al cliente es bueno o que la capacidad es excesiva. Asimismo, las filas largas indican poca eficiencia del servidor o la necesidad de aumentar la capacidad.
2. *Número de clientes en el sistema.* El número de clientes que forman la fila y reciben servicio también se relaciona con la eficiencia y la capacidad de dicho servicio. Un gran número de clientes en el sistema provoca congestionamientos y puede dar lugar a la insatisfacción del cliente, a menos que se agregue más capacidad.
3. *Tiempo de espera en la fila.* Las filas largas no siempre significan tiempos de espera prolongados. Si la tasa de servicio es rápida, una fila larga puede ser atendida eficientemente. Sin embargo, cuando el tiempo de espera parece largo, los clientes tienen la impresión de que la calidad del servicie es deficiente. Los gerentes tratan de cambiar la tasa de llegada de los clientes o de diseñar el sistema para que los largos tiempos de espera parezcan más cortos de lo que realmente son. Por ejemplo, en Walt Disney World, los clientes que forman filas para entrar a una atracción determinada se entretienen con la exhibición de videos y también reciben información acerca de cuánto tiempo tendrán que esperar, lo que parece ayudarles a soportar la espera.
4. *Tiempo total en el sistema.* El tiempo total transcurrido desde la entrada al sistema hasta la salida del mismo puede indicar problemas con los clientes, la eficiencia del servidor o la capacidad. Si algunos clientes pasan demasiado tiempo en el sistema del servicio, tal vez sea necesario cambiar la disciplina prioritaria, incrementar la productividad o ajustar de algún modo la capacidad.
5. *Utilización de las instalaciones de servicio.* La utilización colectiva de instalaciones de servicio refleja el porcentaje de tiempo que éstas permanecen ocupadas. El objetivo de la gerencia es mantener altos niveles de utilización y rentabilidad, sin afectar adversamente las demás características de operación.

El mejor método para analizar un problema de filas de espera consiste en relacionar las cinco características de operación y sus respectivas alternativas con su valor monetario. Sin embargo, es difícil asignar un valor económico a ciertas características (como el tiempo de espera de un comprador en una tienda de abarrotes). En esos casos, es necesario que el analista compare el costo de aplicar la alternativa en cuestión con una evaluación subjetiva del costo que implicaría el hecho de *no* hacer dicho cambio.

A continuación se presentarán tres modelos y algunos ejemplos que ilustran la forma en que los modelos de filas de espera ayudan a los gerentes de operaciones en la toma de decisiones. Se analizarán problemas que requieren la utilización de los modelos de un solo servidor, de múltiples servidores y de fuente finita, todos ellos con una sola fase. Al final de este suplemento encontrará referencias a otros modelos más avanzados.

MODELO CON UN SOLO SERVIDOR

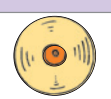
El modelo de filas de espera más sencillo corresponde a un solo servidor y una sola fila de clientes. Para especificar con más detalle el modelo, se harán las siguientes suposiciones:

1. La población de clientes es infinita y todos los clientes son pacientes.
2. Los clientes llegan de acuerdo con una distribución de Poisson y con una tasa media de llegadas de λ.
3. La distribución del servicio es exponencial, con una tasa media de servicio de μ.
4. La tasa media de servicio es mayor que la tasa media de llegadas.
5. A los clientes que llegan primero se les atiende primero.
6. La longitud de la fila de espera es ilimitada.

A partir de estas suposiciones, se pueden aplicar varias fórmulas para describir las características de operación del sistema:

$$\rho = \text{utilización promedio del sistema}$$
$$= \frac{\lambda}{\mu}$$
$$P_n = \text{probabilidad de que } n \text{ clientes estén en el sistema}$$
$$= (1-\rho)\rho^n$$
$$L = \text{número promedio de clientes en el sistema de servicio}$$
$$= \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$
$$L_q = \text{número promedio de clientes en la fila de espera}$$
$$= \rho L$$
$$W = \text{tiempo promedio transcurrido en el sistema, incluido el servicio}$$
$$= \frac{1}{\mu-\lambda}$$
$$W_q = \text{tiempo promedio de espera en la fila}$$
$$= \rho W$$

EJEMPLO C.3 — Cálculo de las características de operación de un sistema con un solo canal y una sola fase



MODELO ACTIVO C.1

El modelo activo C.1 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo con un solo servidor y sus usos para este problema.

La gerente de una tienda de abarrotes, en la comunidad para jubilados de Sunnyville, está interesada en brindar un buen servicio a las personas mayores que compran en su tienda. Actualmente, la tienda tiene una caja registradora reservada para los clientes de la tercera edad. Esas personas llegan a la caja a un ritmo promedio de 30 por hora, de acuerdo con una distribución de Poisson, y son atendidas a una tasa promedio de 35 clientes por hora, con tiempos de servicio exponenciales. Calcule las siguientes características de operación:

a. Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema.
b. Utilización promedio del empleado de la caja registradora.
c. Número promedio de clientes en el sistema.
d. Número promedio de clientes formados en la fila.
e. Tiempo promedio que los clientes pasan en el sistema.
f. Tiempo promedio de espera en la fila.

SOLUCIÓN

La caja registradora puede modelarse como un sistema con un solo canal y una sola fase. La figura C.4 muestra los resultados del *solver* de filas de espera de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el *modelo con un solo servidor* se demuestran en el problema resuelto 1 al final del suplemento.

Servidores		(Se supone que el número de servidores *s* es 1 en un modelo con un solo servidor)
Tasa de llegadas (λ)	30	
Tasa de servicio (μ)	35	

Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema (P_0)	0.1429
Probabilidad de que haya exactamente 0 clientes en el sistema	0.1429
Utilización promedio del servidor (ρ)	0.8571
Número promedio de clientes en el sistema (L)	6.0000
Número promedio de clientes en la fila (L_q)	5.1429
Tiempo promedio de espera/servicio en el sistema (W)	0.2000
Tiempo promedio de espera en la fila (W_q)	0.1714

FIGURA C.4

Solver de filas de espera correspondiente a un sistema con un solo canal y una sola fase

Tanto el tiempo promedio de espera en el sistema (W) como el tiempo promedio de espera en la fila (W_q) se expresan en horas. Para convertir los resultados en minutos, simplemente multiplique por 60 minutos/hora. Por ejemplo, $W = 0.20(60) = 12.00$ minutos, y $W_q = 0.1714(60) = 10.28$ minutos.

Análisis de las tasas de servicio con el modelo de un solo servidor

EJEMPLO **C.4**

La gerente de la tienda de abarrotes de Sunnyville, mencionada en el ejemplo C.3, desea respuestas a las siguientes preguntas:

a. ¿Qué tasa de servicio se requeriría para lograr que los clientes pasaran, en promedio, sólo 8 minutos en el sistema?

b. Con esa tasa de servicio, ¿qué probabilidad hay de tener más de cuatro clientes en el sistema?

c. ¿Qué tasa de servicio se requeriría para tener sólo 10% de probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema?



TUTOR C.1

El tutor C.1 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el modelo con un solo servidor.

SOLUCIÓN

El *solver* de filas de espera de OM Explorer puede usarse de manera iterativa para responder las preguntas. Aquí se muestra cómo resolver el problema manualmente.

a. Se usa la ecuación correspondiente al tiempo promedio dentro del sistema y se resuelve para obtener el valor de μ.

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$8 \text{ minutos} = 0.133 \text{ hora} = \frac{1}{\mu - 30}$$

$$0.133\mu - 0.133(30) = 1$$

$$\mu = 37.52 \text{ clientes/hora}$$

b. La probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es igual a 1 menos la probabilidad de que haya cuatro o menos clientes en el sistema.

$$P = 1 - \sum_{n=0}^{4} P_n$$

$$= 1 - \sum_{n=0}^{4} (1-\rho)\rho^n$$

y

$$\rho = \frac{30}{37.52} = 0.80$$

Entonces,

$$P = 1 - 0.2(1 + 0.8 + 0.8^2 + 0.8^3 + 0.8^4)$$

$$= 1 - 0.672 = 0.328$$

Por lo tanto, existe una probabilidad de casi 33% de que haya más de cuatro clientes en el sistema.

c. Aplicamos la misma lógica que en la parte (b), excepto que μ es ahora una variable de decisión. La forma más fácil de proceder es encontrar primero la utilización promedio correcta y después resolver para la tasa de servicio.

$$\begin{aligned} P &= 1 - (1-\rho)(1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4) \\ &= 1 - (1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4) + \rho(1+\rho+\rho^2+\rho^3+\rho^4) \\ &= 1 - 1 - \rho - \rho^2 - \rho^3 - \rho^4 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4 + \rho^5 \\ &= \rho^5 \end{aligned}$$

o

$$\rho = P^{1/5}$$

Si $P = 0.10$,

$$\rho = (0.10)^{1/5} = 0.63$$

En consecuencia, para una tasa de utilización de 63%, la probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es de 10%. Para $\lambda = 30$, la tasa media de servicio deberá ser de

$$\frac{30}{\mu} = 0.63$$

$$\mu = 47.62 \text{ clientes/hora}$$

Punto de decisión La tasa de servicio sólo tendría que aumentar un poco para alcanzar el objetivo de los ocho minutos. Sin embargo, la probabilidad de que haya más de cuatro clientes en el sistema es demasiado alta. La gerente debe encontrar ahora la forma de incrementar la tasa de servicio de 35 por hora a aproximadamente 48 por hora. Puede aumentar la tasa de servicio de varias maneras, que van desde contratar a un estudiante de bachillerato para que ayude a empacar los víveres en una bolsa hasta instalar equipo electrónico en el punto de venta para que lea los precios de la información del código de barras que tiene impreso cada artículo.

MODELO CON MÚLTIPLES SERVIDORES

En el modelo con múltiples servidores, los clientes forman una sola fila y eligen entre s servidores al que esté disponible. El sistema de servicio tiene una sola fase. Se partirá de las siguientes suposiciones, además de las que se hicieron para el modelo con un solo servidor: hay s servidores idénticos, y la distribución del servicio para cada uno de ellos es exponencial, con un tiempo medio de servicio igual a $1/\mu$. Siempre debe ocurrir que $s\mu$ sea mayor que λ.

Con estas suposiciones, se pueden aplicar varias fórmulas para describir las características de operación del sistema de servicio:

$$\rho = \text{utilización promedio del sistema} = \frac{\lambda}{s\mu}$$

$$P_0 = \text{probabilidad de que haya cero clientes en el sistema} = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!}\left(\frac{1}{1-\rho}\right)\right]^{-1}$$

$$P_n = \text{probabilidad de que haya } n \text{ clientes en el sistema} = \begin{cases} \dfrac{(\lambda/\mu)^n}{n!}P_0 & 0 < n < s \\ \dfrac{(\lambda/\mu)^n}{s!s^{n-s}}P_0 & n \geq s \end{cases}$$

$$L_q = \text{número promedio de clientes en la fila de espera} = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$$

$$W_q = \text{tiempo promedio de espera de los clientes en la fila} = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W = \text{tiempo promedio pasado en el sistema, incluido el servicio} = W_q + \frac{1}{\mu}$$

$$L = \text{número promedio de clientes en el sistema de servicio} = \lambda W$$

Estimación del tiempo ocioso y los costos de operación por hora usando el modelo con múltiples servidores

EJEMPLO **C.5**

La gerencia de la terminal de American Parcel Service en Verona, Wisconsin, está preocupada por la cantidad de tiempo que los camiones de la compañía permanecen ociosos, en espera de ser descargados. La terminal funciona con cuatro plataformas de descarga. Cada una de éstas requiere una cuadrilla de dos empleados, y cada cuadrilla cuesta $30 por hora. El costo estimado de un camión ocioso es de $50 por hora. Los camiones llegan a un ritmo promedio de tres por hora, siguiendo una distribución de Poisson. En promedio, una cuadrilla es capaz de descargar un semirremolque en una hora, y los tiempos de servicio son exponenciales. ¿Cuál es el costo total por hora de la operación de este sistema?

MODELO ACTIVO C.2

El modelo activo C.2 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo con múltiples servidores y sus usos para este problema.

SOLUCIÓN

El *modelo con múltiples servidores* es apropiado. Para encontrar el costo total de la mano de obra y los camiones ociosos, se debe calcular el número promedio de camiones en el sistema.

La figura C.5 muestra los resultados del problema de American Parcel Service, obtenidos con el solver de filas de espera de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el *modelo con múltiples servidores* se demuestran en el problema resuelto 2 al final de este suplemento. Los resultados indican que el diseño de cuatro plataformas se utiliza 75% del tiempo y que el número promedio de camiones ya sea en revisión o en la fila de espera es de 4.53 camiones. Ahora se puede calcular el costo por hora de la mano de obra y los camiones ociosos.



TUTOR C.2

El tutor C.2 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el modelo con múltiples servidores.

Costo de la mano de obra:	$30(s) = $30(4)	= $120.00
Costo de los camiones ociosos:	$50(L) = $50(4.53) =	226.50
	Costo total por hora	= $346.50

Servidores	4
Tasa de llegadas (λ)	3
Tasa de servicio (μ)	1

Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema (P_0)	0.0377
Probabilidad de que haya [exactamente ▾] [0] clientes en el sistema	0.0377
Utilización promedio de los servidores (*p*)	0.7500
Número promedio de clientes en el sistema (L)	4.5283
Número promedio de clientes en la fila (L_q)	1.5283
Tiempo promedio de espera/servicio en el sistema (W)	1.5094
Tiempo promedio de espera en la fila (W_q)	0.5094

FIGURA C.5

Solver de filas de espera correspondiente a un modelo con múltiples servidores

Punto de decisión La gerencia debe evaluar ahora si la cantidad de $346.60 al día por esta operación es aceptable. Si se intenta reducir los costos eliminando cuadrillas de trabajadores, sólo aumentará el tiempo de espera de los camiones, que es más caro por hora que las cuadrillas. Sin embargo, la tasa de servicio puede incrementarse si se adoptan mejores métodos de trabajo; por ejemplo, L puede reducirse y los costos diarios de operación serán inferiores.

LEY DE LITTLE

Una de las leyes más prácticas y fundamentales en la teoría de filas de espera es la **ley de Little,** que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo de espera de los clientes. Usando la misma notación que se utilizó para los modelos con un solo servidor y múltiples servidores, la ley de Little se expresa así: $L = \lambda W$ o $L_q = \lambda W_q$. Esta relación es válida para una amplia variedad de procesos de llegadas, distribuciones de tiempo de servicio y número de servidores. La ventaja práctica de la ley de Little es que sólo se necesita conocer dos de los parámetros para estimar el tercero. Por ejemplo, considere al gerente de un centro de licencias de vehículos automotores que recibe muchas quejas por el tiempo que la gente tiene que pasar para renovar su licencia u obtener nuevas placas de matrícula. Sería difícil obtener datos sobre el tiempo que cada cliente pasa en la oficina. Sin embargo, el gerente puede pedir a un asistente que monitoree el número de personas que llegan a la oficina cada hora y que calcule el promedio (λ). El gerente también podría contar periódicamente el número de personas que se encuentran en la sala de espera y en las estaciones de atención al público y calcular el promedio (*L*). Con base en la ley de Little, el gerente puede estimar *W*, el tiempo promedio que cada cliente pasa en la oficina. Si el tiempo que un cliente pasa en la oficina no es razonable, el gerente se centrará ya sea en agregar capacidad o

ley de Little

Ley fundamental que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo de espera de los clientes.

La ley de Little puede usarse para estimar el tiempo promedio de espera de los clientes en una oficina, ya que relaciona el número de clientes en un sistema de filas de espera con el tiempo. Es una de las leyes más prácticas y fundamentales en la teoría de filas.



en mejorar los métodos de trabajo para reducir el tiempo que se necesita para atender a cada cliente.

Asimismo, la ley de Little puede usarse en procesos manufactureros. Suponga que un gerente de producción conoce el tiempo promedio de entrega de una unidad de producto en un proceso manufacturero (W) y el número promedio de unidades por hora que llegan al proceso (λ). El gerente de producción puede entonces estimar el promedio del trabajo en proceso (L) usando la ley de Little. Si el gerente conoce la relación entre la tasa de llegada, el tiempo de entrega y el trabajo en proceso, contará con una base para medir los efectos de las mejoras implementadas en el trabajo en proceso en la planta. Por ejemplo, si se agrega cierta capacidad a un cuello de botella en el proceso, se puede reducir el tiempo de entrega del producto y, por tanto, también se reducirá el inventario de trabajo en proceso.

Aunque la ley de Little es aplicable en muchas situaciones tanto en los entornos de servicio como manufactureros, no lo es en aquellas situaciones en las que la población de clientes es finita, tema que se abordará en seguida.

MODELO CON FUENTE FINITA

Ahora se considerará una situación en la que todas las suposiciones del modelo con un solo servidor son apropiadas, excepto una. En este caso, la población de clientes es finita, porque sólo existen N clientes potenciales. Si N es mayor que 30 clientes, resulta adecuado el modelo con un solo servidor basado en la suposición de que la población de clientes es infinita. En los demás casos, el modelo con fuente finita es el que más conviene utilizar. Las fórmulas que se usan para calcular las características de operación de este sistema de servicio son las siguientes:

$$P_0 = \text{probabilidad de que haya cero clientes en el sistema}$$
$$= \left[\sum_{n=0}^{N} \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$$
$$\rho = \text{utilización promedio del servidor}$$
$$= 1 - P_0$$
$$L_q = \text{número promedio de clientes en la fila de espera}$$
$$= N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda}(1 - P_0)$$
$$L = \text{número promedio de clientes en el sistema de servicio}$$
$$= N - \frac{\mu}{\lambda}(1 - P_0)$$
$$W_q = \text{tiempo promedio de espera en la fila}$$
$$= L_q[(N - L)\lambda]^{-1}$$
$$W = \text{tiempo promedio pasado en el sistema, incluido el servicio}$$
$$= L[(N - L)\lambda]^{-1}$$

Análisis de los costos de mantenimiento aplicando el modelo con fuente finita

EJEMPLO **C.6**

Hace casi tres años, Worthington Gear Company instaló un conjunto de diez robots. Los robots incrementaron considerablemente la productividad de la mano de obra de la empresa, pero a últimas fechas la atención se ha centrado en el mantenimiento. La compañía no aplica mantenimiento preventivo a los robots en virtud de la gran variabilidad que se observa en la distribución de las averías. Cada máquina tiene una distribución exponencial de averías (o distribución entre llegadas), con un tiempo promedio de 200 horas entre una y otra falla. Cada hora máquina perdida como tiempo ocioso cuesta $30, lo que significa que la empresa tiene que reaccionar con rapidez en cuanto falla una máquina. La compañía contrata sólo a una persona de mantenimiento, que necesita 10 horas en promedio para reparar un robot. Los tiempos reales de mantenimiento están distribuidos exponencialmente. La tarifa salarial es de $10 por hora para el encargado de mantenimiento, que puede trabajar productivamente en otras actividades cuando no hay robots que reparar. Calcule el costo diario por concepto de mano de obra y tiempo ocioso de los robots.



MODELO ACTIVO C.3

El modelo activo C.3 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo con fuente finita y sus usos para este problema.



TUTOR C.3

El tutor C.3 en el CD-ROM del estudiante contiene otro ejemplo para practicar el modelo con fuente finita.

SOLUCIÓN

El modelo con fuente finita es apropiado para este análisis porque sólo 10 máquinas constituyen la población de clientes y se cumplen las demás suposiciones. En este caso, $\lambda = 1/200$, o sea, 0.005 averías por hora, y $\mu = 1/10 = 0.10$ robots por hora. Para calcular el costo de la mano de obra y el tiempo ocioso de robots, es necesario estimar la utilización promedio del empleado de mantenimiento y L, es decir, el número promedio de robots en el sistema de mantenimiento. La figura C.6 muestra los resultados del problema de Worthington Gear, obtenidos con el solver de filas de espera de OM Explorer. Los cálculos manuales de las ecuaciones para el modelo con fuente finita se demuestran en el problema resuelto 3 al final de este suplemento. Los resultados indican que el empleado de mantenimiento se utiliza sólo 46.2% del tiempo, y que el número promedio de robots que esperan en la fila o que están en reparación en de 0.76 robots. Sin embargo, un robot descompuesto pasa un promedio de 16.43 horas en el sistema de reparación, de las cuales 6.43 horas de ese tiempo lo pasa esperando a que le den servicio.

Los costos diarios de mano de obra y tiempo ocioso de los robots son:

Costo de la mano de obra:	($10/hora)(8 horas/día)(0.462 utilización)	= $ 36.96
Costo de los robots ociosos:	(0.76 robots)($30/robot hora)(8 horas/día)	= 182.40
	Costo diario total	= $219.36

Clientes	10
Tasa de llegadas (λ)	0.005
Tasa de servicio (μ)	0.1

Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema (P_0)	0.5380
Probabilidad de [que haya menos de] 0 clientes en el sistema	#N/A
Utilización promedio del servidor (*p*)	0.4620
Número promedio de clientes en el sistema (L)	0.7593
Número promedio de clientes en la fila (L_q)	0.2972
Tiempo promedio de espera/servicio en el sistema (W)	16.4330
Tiempo promedio de espera en la fila (W_q)	6.4330

FIGURA C.6

Solver de filas de espera correspondiente a un modelo con fuente finita

Punto de decisión El costo de la mano de obra por la reparación de los robots representa sólo 20% del costo de los robots ociosos. La gerencia debe pensar en la conveniencia de tener un segundo empleado de reparación de guardia en caso de que haya dos o más robots en espera de ser reparados al mismo tiempo.

> ÁREAS DE DECISIÓN PARA LA GERENCIA <

Después de analizar un problema de filas de espera, la gerencia puede mejorar el sistema de servicio introduciendo cambios en una o más de las siguientes áreas:

1. *Tasas de llegada.* Es frecuente que la administración tenga la posibilidad de influir en la tasa de llegada de los clientes, λ, ya sea por medio de publicidad, promociones especiales o precios diferenciales. Por ejemplo, una compañía telefónica aplica precios diferenciales para in-

ducir un cambio en los patrones de las llamadas residenciales de larga distancia, de modo que en lugar de que los clientes las hagan durante el día, prefieran hacerlas por la noche.

2. *Número de instalaciones de servicio*. Al aumentar el número de instalaciones de servicio, como los depósitos de herramientas, casetas de peaje o cajas en las sucursales bancarias, o bien, al dedicar algunas instalaciones de una fase a un conjunto de servicios único, la gerencia logra acrecentar la capacidad del sistema.
3. *Número de fases*. Los gerentes pueden optar por asignar tareas de servicio a fases secuenciales si consideran que dos instalaciones de servicio secuenciales son más eficientes que una sola. Por ejemplo, en las líneas de ensamblaje, la decisión se refiere al número de fases o trabajadores necesarios en dicha línea. La determinación del número de trabajadores que se requieren en la línea también implica la asignación de cierto conjunto de elementos de trabajo a cada uno de ellos. Un cambio en la distribución de la instalación puede incrementar la tasa de servicio, μ, de cada instalación y la capacidad de todo el sistema.
4. *Número de servidores por instalación*. Los gerentes influyen en la tasa de servicio cuando asignan más de una persona a una instalación de servicio.
5. *Eficiencia del servidor*. Si se ajusta la razón capital a mano de obra, se idean métodos mejorados de trabajo o se instituyen programas de incentivos, la gerencia puede elevar la eficiencia de los servidores asignados a una instalación de servicio. Los cambios de ese tipo se reflejan en μ.
6. *Regla de prioridad*. Los gerentes establecen la regla de prioridad que debe aplicarse, deciden si cada instalación de servicio debe tener una regla de prioridad diferente y si se permitirá que, por motivos de prioridad, se altere el orden previsto (señalando, en este último caso, en qué condiciones se hará tal cosa). Estas decisiones afectan los tiempos de espera de los clientes y la utilización de los servidores.
7. *Distribución de las filas*. Los gerentes pueden influir en los tiempos de espera de los clientes y la utilización de los servidores al decidir si habrá una sola fila o si cada instalación tendrá su respectiva fila en el curso de una fase de servicio determinada.

Es evidente que todos estos factores están relacionados entre sí. Es muy posible que un ajuste en la tasa de llegada de los clientes, λ, tenga que ir acompañado de un incremento en la tasa de servicio, μ, de una u otra forma. Las decisiones sobre el número de instalaciones, el número de fases y la distribución de las filas de espera también están relacionadas entre sí.

En cada uno de los problemas que se han analizado con los modelos de filas de espera, las llegadas mostraron una distribución de Poisson (o sea, tiempos exponenciales entre llegadas), los tiempos de servicio tenían una distribución exponencial, las instalaciones de servicio tenían una disposición sencilla y la disciplina prioritaria consistía en atender primero a quien llegaba primero. La teoría de filas de espera se ha usado para desarrollar otros modelos en los que estos criterios no se cumplen, pero estos modelos son complejos. Muchas veces, el carácter de la población de clientes, las restricciones impuestas a las filas, la regla de prioridad, la distribución del tiempo de servicio y la disposición de las instalaciones son tan especiales que la teoría de filas de espera ya no resulta útil. En esos casos, se utiliza a menudo la simulación.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este suplemento.

> ECUACIONES CLAVE <

1. Distribución de Poisson de la llegada de los clientes: $P_n = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T}$
2. Distribución exponencial del tiempo de servicio: $P[t \leq T] = 1 - e^{-\mu T}$

	Modelo con un solo servidor	Modelo con múltiples servidores	Modelo con fuente finita
Utilización promedio del sistema	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	$\rho = \frac{\lambda}{s\mu}$	$\rho = 1 - P_0$
Probabilidad de que haya n clientes en el sistema	$P_n = (1 - \rho)\rho^n$	$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0 & 0 < n < s \\ \frac{(\lambda/\mu)^n}{s!\, s^{n-s}} P_0 & n \geq s \end{cases}$	
Probabilidad de que haya cero clientes en el sistema	$P_0 = 1 - \rho$	$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1}$	$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{N} \frac{N!}{(N-n)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right]^{-1}$
Número promedio de clientes en el sistema de servicio	$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L = \lambda W$	$L = N - \frac{\mu}{\lambda}(1 - P_0)$
Número promedio de clientes en la fila de espera	$L_q = \rho L$	$L_q = \frac{P_0 (\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$	$L_q = N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda}(1 - P_0)$
Tiempo promedio pasado en el sistema, incluido el servicio	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$	$W = L[(N - L)\lambda]^{-1}$
Tiempo promedio de espera en la fila	$W_q = \rho W$	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	$W_q = L_q[(N - L)\lambda]^{-1}$

TÉRMINOS CLAVE

PROBLEMA RESUELTO 1

Un fotógrafo toma fotografías para pasaportes a una tasa promedio de 20 fotos por hora. El fotógrafo tiene que esperar hasta que el cliente deje de parpadear o de fruncir el entrecejo, por lo cual el tiempo necesario para tomar las fotografías muestra una distribución exponencial. Los clientes llegan a una tasa promedio de 19 personas por hora, según una distribución de Poisson.

a. ¿Cuál es la utilización del fotógrafo?

b. ¿Cuánto tiempo pasará el cliente promedio con el fotógrafo?

SOLUCIÓN

a. Las suposiciones contenidas en la exposición del problema son congruentes con un modelo de solo servidor. La utilización es:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{19}{20} = 0.95$$

b. El tiempo promedio que el cliente pasa con el fotógrafo es:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{20 - 19} = 1 \text{ hora}$$

PROBLEMA RESUELTO 2

El cine Mega Multiplex tiene una tienda en concesión con tres empleados que atienden a los clientes por riguroso orden de llegada. El tiempo de servicio por cliente se distribuye exponencialmente, con un promedio de 2 minutos por cliente. Los clientes de la concesión esperan en un amplio vestíbulo, formando una sola fila, y sus llegadas tiene una distribución de Poisson, con un promedio de 81 clientes por hora. Se exhiben cortos durante 10 minutos antes del inicio de cada función. Si el tiempo promedio que pasan en el área de concesión rebasa los 10 minutos, los clientes se sienten insatisfechos.

a. ¿Cuál es la utilización promedio de los empleados de la concesión?

b. ¿Cuál es el tiempo promedio que pasan los clientes en el área de la concesión?

SOLUCIÓN

a. La exposición del problema es congruente con el modelo de múltiples servidores, y la tasa promedio de utilización es de:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} = \frac{81 \text{ clientes/hora}}{(3 \text{ servidores})\left(\dfrac{60 \text{ minutos/hora servidor}}{2 \text{ minutos/cliente}}\right)} = 0.90$$

Los empleados de la concesión están ocupados 90% del tiempo.

b. El tiempo promedio que los clientes pasan en el sistema, W, es:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Por lo tanto,

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \quad \text{y} \quad P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!}\left(\frac{1}{1-\rho}\right)\right]^{-1}$$

Es necesario obtener el valor de P_0, L_q, y W_q, en ese orden, antes de resolver para W:

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!}\left(\frac{1}{1-\rho}\right)\right]^{-1}$$

$$= \frac{1}{1 + \dfrac{(81/30)}{1} + \dfrac{(2.7)^2}{2} + \left[\dfrac{(2.7)^3}{6}\left(\dfrac{1}{1-0.9}\right)\right]}$$

$$= \frac{1}{1 + 2.7 + 3.645 + 32.805} = \frac{1}{40.15} = 0.0249$$

$$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} = \frac{0.0249(81/30)^3(0.9)}{3!(1-0.9)^2} = \frac{0.4411}{6(0.01)} = 7.352 \text{ clientes}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{7.352 \text{ clientes}}{81 \text{ clientes/hora}} = 0.0908 \text{ horas}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} = 0.0908 \text{ horas} + \frac{1}{30}\text{hora} = (0.1241 \text{ horas})\left(\frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}}\right)$$

$$= 7.45 \text{ minutos}$$

Con tres empleados en la concesión, los clientes pasarán un promedio de 7.45 minutos en el área de la concesión.

PROBLEMA RESUELTO 3

La mina carbonífera Severance atiende a seis trenes cuyos tiempos entre llegadas se distribuyen exponencialmente y promedian 30 horas. El tiempo requerido para cargar completamente un tren con carbón varía según el número de furgones, retrasos ocasionados por el clima y averías del equipo. El tiempo necesario para llenar un tren puede calcularse mediante una distribución exponencial, con una media de 6 horas con 40 minutos. El ferrocarril exige que la mina de carbón pague cargos muy cuantiosos de sobrestadía en caso de que un tren pase más de 24 horas en la mina. ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa un tren en la mina?

SOLUCIÓN

La exposición del problema describe un modelo con fuente finita, donde $N = 6$. El tiempo promedio que pasan los trenes en la mina es $W = L[(N - L)\lambda]^{-1}$, con $1/\lambda = 30$ horas/tren, $\lambda = 0.8$ trenes/día, y $\mu = 3.6$ trenes/día. En este caso,

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{N} \frac{N!}{(N-n)!}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{6} \frac{6!}{(6-n)!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^n}$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{6!}{6!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^0\right]+\left[\frac{6!}{5!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^1\right]+\left[\frac{6!}{4!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^2\right]+\left[\frac{6!}{3!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^3\right]+\left[\frac{6!}{2!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^4\right]+\left[\frac{6!}{1!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^5\right]+\left[\frac{6!}{0!}\left(\frac{0.8}{3.6}\right)^6\right]}$$

$$= \frac{1}{1+1.33+1.48+1.32+0.88+0.39+0.09} = \frac{1}{6.49} = 0.1541$$

$$L = N - \frac{\mu}{\lambda}(1-P_0) = 6 - \left[\frac{3.6}{0.8}(1-0.1541)\right] = 2.193 \text{ trenes}$$

$$W = L[(N-L)\lambda]^{-1} = \frac{2.193}{(3.807)0.8} = 0.72 \text{ días}$$

Los trenes que llegan pasan un promedio de 0.72 días en la mina de carbón.

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. El bufete de abogados Solomon, Smith and Samson produce muchos documentos legales para los clientes y la propia compañía, que deben elaborarse con un procesador de textos. Las solicitudes promedian ocho páginas de documentos por hora, y llegan de acuerdo con una distribución de Poisson. La secretaria mecanografía diez páginas por hora, en promedio, de acuerdo con una distribución exponencial.
   - **a.** ¿Cuál es la tasa de utilización promedio de la secretaria?
   - **b.** ¿Qué probabilidad hay de que más de cuatro páginas se estén mecanografiando o estén en espera de procesarse?
   - **c.** ¿Cuál es el número promedio de páginas en espera ser mecanografiadas?
2. Benny's Arcade tiene seis máquinas de videojuegos. El tiempo promedio entre fallas de las máquinas es de 50 horas. Jimmy, el ingeniero de mantenimiento, puede reparar una máquina en un promedio de 15 horas. Las máquinas tienen una distribución exponencial de descomposturas y Jimmy tiene una distribución exponencial de tiempo de servicio.
   - **a.** ¿Cuál es la utilización de Jimmy?
   - **b.** ¿Cuál es el número promedio de máquinas descompuestas, es decir, en espera de ser reparadas o en reparación?
   - **c.** ¿Cuál es el tiempo promedio que una máquina pasa fuera de servicio?
3. Moore, Aiken and Payne es una clínica dental que atiende al público en general por riguroso orden de llegada. La clínica cuenta con tres sillones odontológicos y cada una es atendida por un dentista. Los pacientes llegan a razón de cinco por hora, de acuerdo con una distribución de Poisson, y no evitan ni renuncian al servicio. El tiempo promedio requerido para realizar una revisión dental es de 30 minutos, según una distribución exponencial.
   - **a.** ¿Que probabilidad hay de que no haya ningún paciente en la clínica?
   - **b.** ¿Qué probabilidad hay de que haya seis o más pacientes en la clínica?
   - **c.** ¿Cuál es el número promedio de pacientes en espera de ser atendidos?
   - **d.** ¿Cuál es el tiempo promedio total que pasa un paciente en la clínica?
4. El Fantastic Styling Salon es un salón de belleza dirigido por dos estilistas, Jenny Pérez y Jill Sloan, cada una de las cuales es capaz de atender a cinco clientes por hora, en promedio. Cada hora llegan al salón ocho clientes, en promedio.
   - **a.** Si todos los clientes que llegan tienen que esperar en una misma fila hasta que se desocupe una de las estilistas, ¿cuánto tiempo tienen que esperar en la fila, en promedio, antes de ser atendidos?
   - **b.** Suponga que 50% de los clientes que llegan desean que sólo Pérez los atienda y el otro 50% exige que le atienda Sloan. ¿Cuánto tiempo tienen que esperar los clientes en la fila, en promedio, antes de ser atendidos por Pérez? ¿Y por Sloan? ¿Cuál es el tiempo promedio de espera de los clientes en la fila?
   - **c.** ¿Observa usted alguna diferencia en las respuestas de los incisos (a) y (b)? De ser así, ¿por qué? Explique.

5. Usted es el gerente de un banco local que cuenta con tres cajeros para atender a los clientes. En promedio, cada cajero tarda tres minutos en atender a un cliente. Estos últimos llegan, en promedio, a razón de 50 por hora. Recientemente, su jefe ha recibido quejas de algunos clientes porque tienen que esperar mucho tiempo para que los atiendan; por eso, le ha pedido que evalúe el sistema de servicio. Específicamente, usted deberá responder las siguientes preguntas:
   a. ¿Cual es la utilización promedio del sistema de servicio con tres cajeros?
   b. ¿Qué probabilidad hay de que no haya ningún cliente que esté siendo atendido por un cajero o formado en la fila de espera?
   c. ¿Cuál es el número promedio de clientes que esperan en la fila?
   d. En promedio, ¿cuánto tiene que esperar un cliente formado en la fila para ser atendido?
   e. En promedio, ¿cuántos clientes estarían siendo atendidos en alguna caja y esperando en la fila?

6. Jake Tweet dirige un programa de la radiodifusora KRAN en el que habla sobre temas de psicología. Los consejos de Jake promedian 10 minutos por llamada, pero varían de acuerdo con una distribución exponencial. El tiempo promedio entre llamadas es de 25 minutos, distribuido exponencialmente. Sabiendo que es difícil generar llamadas en este mercado local, Jake no desea que se pierda ninguna a causa de que las líneas telefónicas estén ocupadas. La radiodifusora solamente dispone de tres líneas telefónicas. ¿Cuál es la probabilidad de que una persona que llama reciba el tono de ocupado?

7. El supervisor de la empresa Precision Machine Shop desea establecer una política de personal que minimice el total de los costos de operación. La tasa promedio de llegadas al depósito de herramientas, donde éstas se entregan a los trabajadores, es de ocho mecánicos por hora. Cada uno de éstos gana $20 por hora. El supervisor puede contratar para el depósito de herramientas a un dependiente inexperto, que gane $5 por hora y sea capaz de atender a 10 mecánicos por hora, o a un dependiente experto, que gane $12 por hora y pueda atender 16 llegadas por hora. ¿A cuál de esos dos dependientes convendría seleccionar y cuál sería el costo total estimado por hora?

8. La hija del dueño de un restaurante local de hamburguesas se está preparando para inaugurar un nuevo restaurante de comida rápida que se llamará Hasty Burgers. Tomando como base las tasas de llegada observadas en los establecimientos de su padre, ella prevé que los clientes llegarán a la ventanilla para automovilistas de acuerdo con una distribución de Poisson, con una media de 20 clientes por hora. La tasa de servicio es flexible; sin embargo, se espera que los tiempos de servicio se ajusten a una distribución exponencial. La ventanilla para automovilistas será una operación atendida por un solo servidor.
   a. ¿Que tasa de servicio se necesita para que el número promedio de clientes en el sistema no pase de cuatro a la vez (ya sea en la fila de espera o recibiendo atención)?
   b. Para la tasa de servicio de la parte (a), ¿qué probabilidad hay de que haya más de cuatro clientes esperando en la fila y recibiendo atención?
   c. Para la tasa de servicio de la parte (a), ¿cuál es el tiempo promedio de espera en la fila para cada cliente? ¿Considera usted que ese promedio sea satisfactorio para un negocio de comida rápida?

PROBLEMAS AVANZADOS

9. A tres empleados del departamento de mantenimiento se les ha asignado la responsabilidad de reparar los videojuegos en el salón de juegos Pinball Wizard. Un trabajador de mantenimiento puede reparar una máquina de videojuegos cada ocho horas en promedio, con una distribución exponencial. También en promedio, una máquina de videojuegos falla cada tres horas, de acuerdo con una distribución de Poisson. Cada máquina descompuesta le cuesta a Wizard $10 por hora en ingresos perdidos. El costo que implicaría contratar a un trabajador adicional de mantenimiento sería de $8 por hora.
   ¿Debe el gerente contratar nuevo personal? De ser así, ¿a cuántas personas debe contratar? ¿Qué recomendación le haría usted al gerente con base en su análisis?

10. La Escuela de Administración de Empresas y Administración Pública de la Universidad Benton ha instalado una máquina copiadora en cada piso para uso de los profesores. La intensa utilización de las cinco copiadoras ocasiona fallas frecuentes. Los registros de mantenimiento muestran que una máquina falla cada 2.5 días (o $\lambda = 0.40$ fallas/día). La institución tiene un contrato de mantenimiento con el distribuidor autorizado de las máquinas copiadoras. En virtud de que las copiadoras se descomponen muy frecuentemente, el distribuidor ha asignado a una persona para que las repare en la propia universidad. Esa persona puede reparar un promedio de 2.5 máquinas por día. Aplicando el modelo con fuente finita, responda las siguientes preguntas:
    a. ¿Cuál es la utilización promedio de los servicios del técnico de mantenimiento?
    b. En promedio, ¿cuántas copiadoras se encuentran en reparación en espera de ser reparadas?
    c. ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa una máquina copiadora en el sistema de reparación (esperando y en reparación)?

11. Usted está a cargo de una cantera que produce arena y agregados de piedra para las obras de construcción de su compañía. Los camiones vacíos procedentes de los diversos sitios de construcción llegan hasta las enormes pilas de arena y agregados de piedra de la cantera y esperan en fila para entrar a la estación, en la cual pueden cargar ya sea arena o agregados. En la estación, se cargan y pesan los vehículos, se registra su salida y parten hacia la obra en construcción correspondiente. En la actualidad, cada hora llegan nueve camiones vacíos, en promedio. Una vez que un camión ha entrado en una estación de carga, se necesitan 6 minutos para llenarlo pesarlo y registrar su salida. Ante la preocupación de que los camiones pasen demasiado tiempo en la fila de espera y en la operación de carga, usted ha decidido evaluar dos alternativas para reducir el tiempo promedio que los camiones pasan en el sistema. La primera alternativa consiste en instalar tablones en los costados de los camiones (de modo que sea posible cargar más material) y contratar a un ayudante para la estación de carga (para reducir el tiempo de llenado), todo lo cual tendría un costo total de $50,000. La tasa de llegada de los camiones podría modificarse a seis por hora, y el tiempo de carga se podría reducir a cuatro minutos. La segunda alternativa consiste en agregar otra estación de carga a un costo de $80,000. Los camiones esperarían en una fila común y el que estuviera al frente de la fila avanzaría a la siguiente estación disponible.
    ¿Qué alternativa recomendaría usted si deseara reducir el tiempo promedio de espera actual en el sistema?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cooper, Robert B., *Introduction to Queuing Theory*, 2a. edición, Nueva York, Elsevier-North Holland, 1980.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Hillier, F. S. y G. S. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, 2a. edición, San Francisco, Holden-Day, 1975.

Little, J. D. C., "A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$", *Operations Research*, volumen 9, 1961, pp. 383–387.

Moore, P. M., *Queues, Inventories and Maintenance*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1958.

Saaty, T. L., *Elements of Queuing Theory with Applications*, Nueva York, McGraw-Hill, 1961.

8

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir la planificación de la distribución física.
2. Identificar los cuatro tipos básicos de distribución física.
3. Identificar los criterios de desempeño para evaluar las distribuciones.
4. Explicar cómo las células pueden ayudar a crear distribuciones híbridas.
5. Describir cómo se diseñan las distribuciones de flujo flexible.
6. Identificar diferentes estrategias para distribuciones de almacenes y oficinas.
7. Describir cómo se equilibran las operaciones para procesos de flujos en línea.



Internet ha revolucionado la forma en que las empresas tradicionales diseñan sus procesos y ha llegado, incluso, a influir en el diseño de la distribución física. El centro comercial RiverTown Crossings ha agrupado tiendas de compañías que venden productos similares para facilitar la comparación en las compras, una ventaja que el comercio minorista por Web ya ofrece a los clientes en línea.

CAPÍTULO 8

Distribución de los procesos

RIVERTOWN CROSSINGS

Una madre de 35 años no lo sabe, pero Internet le ha facilitado un poco sus viajes al centro comercial. En 2000, RiverTown Crossings Mall abrió sus puertas en Grandville, Michigan. Desde entonces, ella rara vez se aventura más allá de una sola sección del centro comercial: la parte donde se localizan Abercrombie Kids, Gap Kids, Gymboree, y otras tiendas de ropa para niños. Puede ir de compras a ese pabellón y encontrar casi todo lo que necesita. Para competir con el atractivo de las compras por Internet, el propietario del centro comercial, General Growth Properties, Inc., seleccionó una distribución que se contrapone a décadas de tradición en el comercio minorista: agrupó a tiendas competidoras en un solo lugar. Los compradores ya pedían estos grupos desde mucho antes de que floreciera el comercio minorista por Web, y General Growth comenzó a experimentar con la idea hace tres años. Ahora, todos sus nuevos centros comerciales tendrán estos grupos de tiendas afines.

Preocupados por el futuro, en que los compradores señalarán y harán clic en lugar de estacionarse, caminar y esperar formados en fila, los promotores inmobiliarios están tratando, por fin, de hacer más cómodas las compras en los centros comerciales. Algunos propietarios revisan sus distribuciones actuales y retiran accesorios grandes, como macetones y fuentes, para despejar el campo de visión de las fachadas de las tiendas. Otros están agregando directorios que son más fáciles de entender que los actuales mapas de los centros comerciales. Algunos de éstos, que se encuentran en la etapa de diseño, están optando por ubicar a las grandes tiendas departamentales más próximas unas de otras, una distribución que reduce las caminatas. Otros más tratan de ofrecer elementos de la Web a sus compradores mediante el uso de directorios de alta tecnología. En el Dayton Mall de Ohio, se han instalado elegantes kioscos electrónicos donde, además de proporcionar acceso al correo electrónico a los compradores, éstos también pueden buscar los nombres de las tiendas que venden ciertos tipos de mercancía, como, por ejemplo, "suéteres". Los kioscos también



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

están equipados con impresoras que generan un mapa con la ubicación de la tienda resaltada.

Detrás de los nuevos diseños de distribución hay un viejo secreto del comercio minorista: el centro comercial tradicional se diseñó para ser difícil. Esta inconveniencia planeada hacía que los clientes que querían comparar precios caminaran de un extremo a otro del centro comercial para que tuvieran todas las oportunidades de realizar compras por impulso en el camino. Muchos promotores dejaban poco al azar y dirigían la circulación del tránsito a su favor por medio de plantas, alfombras y otros accesorios, con el fin de establecer rutas sinuosas que pasaban frente a las tiendas.

Es costoso revisar la distribución física de los centros comerciales existentes para hacerlos más cómodos. La mayoría de ellos son junglas de escaleras mecánicas, fuentes y áreas de juegos, y éstos son los obstáculos fáciles. El problema más complejo radica en idear cómo reacomodar tiendas similares que muy probablemente funcionan con contratos de arrendamiento a largo plazo. Después de todo, el promotor de un centro comercial no puede simplemente ordenar a cuatro inquilinos que tienen zapaterías que recojan sus cosas y se muden. Además, muchos comerciantes minoristas aún prefieren mantenerse a prudente distancia de sus competidores. La tienda Hallmark Gold Crown de RiverTown está situada en el primer nivel del extremo norte del centro comercial, mientras que la tienda American Greetings se localiza en el segundo nivel del extremo sur. La estrategia de localización de Hallmark Cards necesita espacio entre sus tiendas y las de la competencia.

Fuente: "Making Malls (Gasp!) Convenient," *Wall Street Journal,* 8 de febrero de 2000. Wall Street Journal, Eastern Edition by Bartley, Robert L. Copyright 2000 by Dow Jones & Co., Inc. Se reproduce con autorización de Dow Jones & Co. Inc., en el formato de libro de texto vía Copyright Clearance Center. Se reproduce con autorización de Wall Street Journal, Copyright © 2000 Dow Jones & Company, Inc. Todos los derechos reservados en el mundo.

planificación de la distribución
Planificación que incluye decisiones sobre la disposición física de los centros de actividad económica que necesitan los diferentes procesos de una instalación.

centro de actividad económica
Cualquier entidad que ocupa espacio; por ejemplo, una persona o grupo de personas, un área de recepción de clientes, la ventanilla de un cajero, una máquina, una estación de trabajo, un departamento, un pasillo o un cuarto de almacenamiento.

Otra forma de mejorar los procesos es revisar la distribución física. Las distribuciones dan forma física y tangible a otras decisiones sobre los procesos, convirtiendo las estructuras de los procesos, diagramas de flujo y planes de capacidad en algo concreto. La nueva distribución del centro comercial RiverTown Crossings demuestra el impacto de la distribución en las actitudes y satisfacción de los clientes. Este capítulo se centra en la **planificación de la distribución**, que incluye decisiones sobre la disposición física de los centros de actividad económica que necesitan los diferentes procesos de una instalación. Un **centro de actividad económica** es cualquier entidad que ocupa espacio: una persona o grupo de personas, un área de recepción de clientes, la ventanilla de un cajero, una máquina, una estación de trabajo, un departamento, un pasillo, un cuarto de almacenamiento, etcétera. La meta de la planificación de la distribución es permitir que los clientes, empleados y el equipo operen de la manera más eficaz posible.

Para empezar, se definirán los cuatro tipos básicos de distribución y las mediciones de desempeño asociadas con éstos. Después de examinar las disposiciones híbridas, se considerará una variedad de técnicas y entornos para distribuciones de flujo flexible. Se presta atención especial a la distribución de almacenes y oficinas, debido a su preponderancia. El capítulo concluye con el diseño de distribuciones de flujo en línea.

Las distribuciones afectan no sólo el flujo de trabajo entre los procesos de una instalación, sino que también afectan los procesos en otras partes de la cadena de valor. Considere un fabricante que disfruta de altos volúmenes, que modificó su distribución física para permitir más flujos en línea. La nueva distribución tiene varias líneas de producción, cada una con su propia plataforma de descarga para partes compradas y materias primas. Con la nueva distribución, los proveedores pueden entregar sus artículos directamente en la línea de producción en lugar de hacerlo en un área central de recepción y almacenamiento. Los proveedores ahora entregan cantidades menores, con mayor frecuencia y de acuerdo con un programa de producción específico. La nueva distribución también permite flujos de producción más uniformes, lo cual da como resultado necesidades de capacidad más previsibles para el proceso de entrega. Así, las decisiones sobre la distribución de los procesos deben tomarse a la luz de los efectos que producen en toda la cadena de valor.

ADMINISTRACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROCESOS EN LA ORGANIZACIÓN

Las distribuciones se encuentran en todas las áreas de una empresa porque toda instalación tiene una distribución. Las buenas distribuciones mejoran la coordinación entre líneas departamentales y límites de áreas funcionales. Cada proceso de una instalación tiene una distribución que debe diseñarse cuidadosamente. La distribución de las operaciones de comercio minorista, como la del centro comercial RiverTown Crossings o alguna de las tiendas de The Limited, puede afectar

las actitudes de los clientes y, por tanto, las ventas. La manera en que se distribuye físicamente un proceso de manufactura o almacenamiento afecta los costos de manejo de los materiales, la tasa de producción (por unidad de tiempo) y la productividad de los trabajadores. El rediseño de la distribución implica inversiones de capital considerables, las cuales necesitan analizarse desde la perspectiva contable y financiera. Las distribuciones también afectan las actitudes de los empleados en una línea de producción o una oficina.

> PLANIFICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN <

Los planes de distribución traducen las decisiones generales sobre las prioridades competitivas, estrategia de procesos, calidad y capacidad de los procesos en disposiciones físicas de personal, equipo y espacio. Para que un gerente pueda tomar decisiones relativas a la disposición física, tiene que responder cuatro preguntas.

1. *¿Qué centros deberán incluirse en la distribución?* Los centros deben reflejar las decisiones del proceso y maximizar la productividad. Por ejemplo, un área de información cerca de la entrada de un banco u hotel puede guiar mejor a los clientes hacia los servicios deseados.
2. *¿Cuánto espacio y capacidad necesita cada centro?* Cuando el espacio es insuficiente puede reducir la productividad, quitar privacidad a los empleados e incluso crear riesgos para la salud y la seguridad. Sin embargo, el espacio excesivo es dispendioso, puede reducir la productividad y aísla a los empleados innecesariamente.
3. *¿Cómo se debe configurar el espacio de cada centro?* La cantidad de espacio, su forma y los elementos que integran un centro de trabajo están relacionados entre sí. Por ejemplo, la colocación de un escritorio y una silla en relación con los demás muebles está determinada tanto por el tamaño y la forma de la oficina, como por las actividades que en ella se desarrollan. La meta de proveer un ambiente agradable se debe considerar también como parte de las decisiones relativas a la configuración de la distribución, sobre todo en establecimientos de comercio minorista y oficinas.
4. *¿Dónde debe localizarse cada centro?* La localización puede afectar notablemente la productividad. Por ejemplo, los empleados que tienen que interactuar con frecuencia en forma personal deben trabajar en una ubicación central y no en lugares separados y distantes, a fin de reducir el tiempo que perderían en desplazarse de un lado a otro.

La localización de un centro tiene dos dimensiones: (1) la *localización relativa*, o sea, la posición que ocupa un centro en relación con otros, y (2) la *localización absoluta*, o el espacio particular que ocupa el centro dentro de la instalación. Ambas dimensiones afectan el desempeño de un centro. Observe la distribución de la tienda de comestibles ilustrada en la figura 8.1(a). Allí se muestra la localización de cinco departamentos, y se aprecia que se ha asignado al departamento de víveres secos el doble del espacio que a los demás departamentos. La ubicación de los alimentos congelados en relación con la del pan es la misma que la localización de las carnes en relación con la de las verduras, de modo que la distancia entre el primer par de departamentos es igual a la distancia entre el segundo par de departamentos. Normalmente, la localización relativa es el factor crucial cuando se considera que el tiempo de desplazamiento, el costo de manejo de los materiales y la eficacia de la comunicación son importantes.

Ahora se examinará el plano de la figura 8.1(b). Aun cuando las localizaciones relativas son las mismas, las localizaciones absolutas han cambiado. Esta distribución modificada podría resultar inviable. Por ejemplo, el costo de llevar las carnes hasta la esquina superior izquierda podría ser excesivo; o la clientela podría reaccionar negativamente ante la ubicación de las verduras en la esquina inferior izquierda, porque prefiere encontrarlas cerca de la entrada.

> ASPECTOS ESTRATÉGICOS <

Las opciones de distribución pueden ayudar enormemente a comunicar los planes de producción y las prioridades competitivas de una organización. Como ilustra la Práctica administrativa 8.1, si un comerciante minorista planea mejorar la calidad de su mercancía, la distribución de su tienda debe proyectar una imagen de más exclusividad y lujo.

La distribución física tiene muchas implicaciones prácticas y estratégicas. Modificar la distribución puede afectar a la organización y la forma como satisface sus prioridades competitivas, de las siguientes maneras:

- Aumentar la satisfacción de los clientes y las ventas en una tienda minorista
- Facilitar el flujo de materiales e información
- Acrecentar la utilización eficiente de la mano de obra y equipo
- Reducir los riesgos para los trabajadores
- Mejorar la moral de los empleados
- Mejorar la comunicación

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

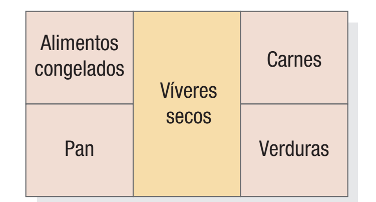
Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación



(a) Distribución original

Carnes	Víveres secos	Alimentos congelados
Verduras		Pan

(b) Distribución revisada

FIGURA 8.1

Localizaciones relativas idénticas y localizaciones absolutas diferentes

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA**

8.1 **LAS TIENDAS MINORISTAS ADECUAN LA DISTRIBUCIÓN A LA ESTRATEGIA**

The Limited

The Limited, Inc., el comerciante minorista especializado en ropa con más de 4,500 establecimientos en América del Norte, usa la imagen de sus tiendas para adecuarla a su estrategia. Lo que empezó como una pequeña tienda para adolescentes ha cuadruplicado ahora su tamaño, y su imagen se ha transformado en la de una boutique europea, con el propósito de atraer a una clientela más adulta. Desde los pisos de madera veteada hasta la laca negra que recubre sus armarios, las tiendas son el escenario donde se exhibe ropa deportiva de moda para damas. The Limited gastó millones de dólares para renovar su imagen. Esta imagen tiene el propósito de inducir a los clientes a pasar más tiempo en las tiendas y a pagar más por la mercancía.

En 1999, The Limited separó una parte de la compañía que se convirtió en Limited Too, una empresa de rápido crecimiento, que vende ropa, trajes de baño, ropa interior, accesorios y productos para el cuidado personal, dirigida a niñas activas, conscientes de la moda, de entre 7 y 14 años. La distribución de estas tiendas es muy diferente. Los locales son de colores vistosos y divertidos y su ambiente transmite energía. La iluminación, que incluye lámparas de globo hechas a mano con mosaicos de fragmentos de vidrios de colores, forma parte muy importante de la ambientación. Limited Too agregó un nuevo elemento de alta tecnología en tiendas seleccionadas: la iluminación digital de espectro total, que usa un sistema basado en diodos emisores de luz (LED, del inglés *light-emitting diode*). Este sistema genera colores y efectos luminosos policromáticos por medio de diodos rojos, verdes y azules controlados por un microprocesador. Limited Too está usando la iluminación digital para resaltar el elemento más característico y atractivo de su distribución: la proyección de un cintillo publicitario tridimensional en un plafón curvo que mide 1.50 metros de alto y aproximadamente 15 metros de largo. Las luces digitales, de colores cambiantes, dan vida al plafón y reflejan el espíritu joven y juguetón de la tienda.



El sistema de alumbrado de Color Kinetics da vida a los gráficos coloridos y vibrantes de Limited Too mediante aditamentos de la Serie C, que iluminan el plafón de la tienda.

Wal-Mart

Wal-Mart, el gigante de las tiendas de descuento y el mayor comerciante minorista de Estados Unidos, atrae a los clientes que exigen tanto buen servicio como precios bajos. Con sus amplios pasillos, anaqueles menos atestados, áreas de descanso para los clientes y exhibidores atractivos, el establecimiento parece más una tienda de departamentos de lujo que un almacén de descuento. Igual que en las tiendas de departamentos, los exhibidores muestran juntos productos relacionados, como cortinas para la ducha, toallas y accesorios de cerámica para baño, formando "viñetas" visuales que fomentan la venta de "múltiples", es decir, varios productos afines. Sin embargo, a diferencia de las tiendas de departamentos, esta cadena ofrece los mismos precios de oferta y amplio surtido en todos sus establecimientos. Muchos ejecutivos del ramo del comercio al menudeo consideran que Wal-Mart es el líder en atención a los detalles de la distribución física que ayudan a determinar las actitudes de los clientes. Esta cadena es particularmente afecta a buscar el delicado equilibrio que se requiere para convencer a la clientela de que sus precios son bajos, sin darles la impresión de que sus tiendas son baratas.

El sitio Web de Wal-Mart (www.walmart.com) contiene una tienda virtual que reproduce en gran medida la experiencia de comprar en las tiendas que operan en inmuebles. Detrás de la arquitectura del sitio, parecida a la de Amazon.com, se encuentra el plano de una supertienda local: los productos están organizados por departamento en pasillos, con cajas registradoras y un centro de atención a clientes en la puerta. Aunque el sitio Web puede ser muy acertado para los clientes que Wal-Mart trata de captar, algunos críticos creen que el sitio refleja una mentalidad anticuada en sus esfuerzos en el mundo virtual.

Fuentes: "Lighting Goes High-Tech", *Chain Store Age*, 1 de enero de 2000; "The Business Logic of Site Architecture", *The Industry Standard*, 17 de abril de 2000.

El tipo de operación determina los requisitos de distribución del espacio. Por ejemplo, en los almacenes, las consideraciones dominantes son los flujos de los materiales y los costos de selección de existencias. En las tiendas minoristas, la comodidad del cliente y las ventas suelen ser dominantes, en tanto que, en una oficina, la eficacia de la comunicación y la formación de equipos tienen importancia crucial.

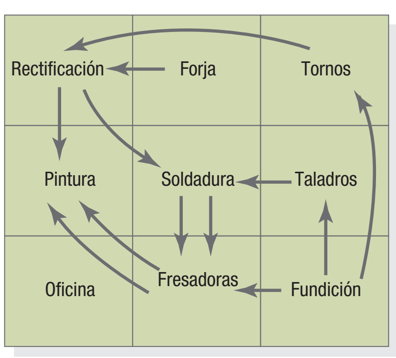
TIPOS DE DISTRIBUCIÓN

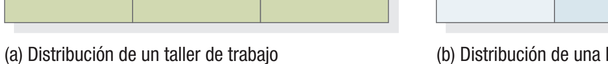
La selección del tipo de distribución depende en gran parte de la estructura de los procesos, es decir, la posición de los procesos en la matriz de contacto con los clientes para los proveedores de servicio y en la matriz de productos y procesos para los procesos de manufactura. Existen cuatro tipos básicos de distribución: (1) flujo flexible; (2) flujo en línea; (3) híbrida, y (4) posición fija.

distribución de flujo flexible

Distribución en la que los en la que los recursos (empleados y equipo) se organizan por función en lugar de por servicio o producto.

Distribuciones de flujo flexible Los procesos de trabajo y de mostrador con flujos de trabajo muy divergentes tienen bajo volumen y un alto nivel de personalización. Para tales procesos el gerente debe elegir una **distribución de flujo flexible,** en la que los recursos (empleados y equipo) se organizan por función en lugar de por servicio o producto. Por ejemplo, en los procesos de trabajo de metalistería que se ilustran en la figura 8.2(a), todos los taladros se localizan en un área del taller de máquinas y todas las fresadoras están ubicadas en otra. La distribución de flujo flexible es





(a) Distribución de un taller de trabajo

(b) Distribución de una línea de producción

FIGURA 8.2

Dos tipos de distribución

más común cuando en la misma operación se deben fabricar muchos productos o partes distintos o es preciso atender a muchos clientes diferentes de forma intermitente. Los niveles de demanda son demasiado bajos o imprevisibles para que la gerencia reserve recursos humanos y de capital exclusivamente para una línea de productos o un tipo de cliente en particular. Las ventajas de la distribución de flujo flexible sobre la distribución de flujo en línea, ilustrada en la figura 8.2(b), donde los centros están dispuestos en una trayectoria lineal, son las siguientes: los recursos son de propósito general y menos intensivos en capital; hay más flexibilidad para manejar los cambios en la mezcla de productos; la supervisión de los empleados es más especializada cuando el contenido del trabajo requiere una buena dosis de conocimientos técnicos, y la utilización del equipo es más alta. Cuando los volúmenes son bajos, dedicar recursos en forma exclusiva a cada producto o servicio (como se hace en la distribución de flujo en línea) requeriría más equipo que agrupar todos los requisitos para todos los productos.[1] Un desafío importante cuando se diseña una distribución de flujo flexible consiste en localizar los centros de tal manera que impongan cierto orden en el aparente caos de los procesos divergentes con flujos de trabajo flexibles.

Distribuciones de flujo en línea Los procesos de trastienda y en línea típicamente tienen flujos de trabajo lineales y tareas repetitivas. Para estos procesos, el gerente debe dedicar recursos a servicios, productos o tareas individuales. Esta estrategia se logra mediante una **distribución de flujo en línea**, como la que muestra la figura 8.2(b), en la cual las estaciones de trabajo o departamentos están dispuestos en una trayectoria lineal. Igual que en un servicio de lavado automático de automóviles, el cliente o el producto se desplaza a lo largo de un flujo uniforme y continuo. Los recursos están dispuestos alrededor de la ruta que sigue el cliente o el producto, en lugar de que muchos de ellos los compartan. Aunque las distribuciones de flujo en línea siguen a menudo una línea recta, esta trayectoria no es siempre la mejor, por lo que las distribuciones pueden adoptar formas de L, O, S o U. Con frecuencia, esta distribución se conoce con el nombre de *línea de producción* o *línea de ensamblaje*. La diferencia entre las dos es que una línea de ensamblaje se usa únicamente para procesos de ensamblado, en tanto que una línea de producción puede usarse para otros procesos, como los de maquinado.

distribución de flujo en línea
Distribución en la cual las estaciones de trabajo o departamentos están dispuestos en una trayectoria lineal.

Estas distribuciones dependen a menudo y en gran medida de recursos especializados, intensivos en capital. Cuando los volúmenes son altos, las ventajas de las distribuciones de flujo en línea sobre las distribuciones de flujo flexible son: tasas de procesamiento más rápidas, inventarios más reducidos, y menos tiempo improductivo a causa de los cambios de producto y el manejo de materiales. Además, se reduce la necesidad de desconectar una operación de la siguiente, lo cual permite que la gerencia disminuya los inventarios. Los japoneses se refieren a un proceso en línea como *operaciones traslapadas*, en las que los materiales pasan directamente de una operación a otra sin tener que permanecer en filas de espera.

En el caso de las distribuciones de flujo en línea, resulta fácil decidir dónde deben localizarse los centros, porque las operaciones tienen que llevarse a cabo en el orden prescrito. Los centros pueden colocarse simplemente de modo que sigan el flujo del trabajo, lo que se asegura que todos los pares de centros que interaccionan estén lo más cerca posible unos de otros o que tengan una frontera común. El desafío de la distribución de flujo en línea es agrupar las actividades en estaciones de trabajo y alcanzar la tasa de producción deseada con la menor cantidad posible de recursos. La composición y el número de estaciones de trabajo son decisiones cruciales, que se explorarán más adelante en este capítulo.

Distribuciones híbridas Lo más frecuente es que en una distribución se combinen elementos de procesos divergentes y de flujo lineal. Esta estrategia intermedia requiere una **distribución híbrida**,

distribución híbrida
Disposición en la cual algunas partes de la instalación tienen una distribución de flujo flexible y otras tienen una distribución de flujo en línea.

[1]Sin embargo, la gerencia no permitirá que la utilización llegara a ser demasiado alta. Un colchón de capacidad grande para los procesos divergentes absorbe la demanda imprevisible de los productos y servicios personalizados.

en la cual algunas partes de la instalación están dispuestas en una distribución de flujo flexible y otras en una distribución de flujo en línea. Las distribuciones híbridas se usan en instalaciones que realizan operaciones de fabricación y ensamblaje, como sucedería si los dos tipos de distribución ilustrados en la figura 8.2 estuvieran en el mismo edificio. Las operaciones de fabricación, en las que se elaboran componentes a partir de materias primas, tienen un flujo complicado, en tanto que las operaciones de ensamblaje, en las que los componentes se ensamblan para obtener productos terminados, tienen un flujo en línea. Los gerentes de operaciones también crean distribuciones híbridas cuando introducen células y automatización flexible, como en un sistema de manufactura flexible (FMS, del inglés *flexible manufacturing system*). Una *célula* es un conjunto de dos o más estaciones de trabajo diferentes, localizadas una junto a otra, a través de las cuales se procesa un número limitado de partes o modelos con flujos en línea. Más adelante, en este mismo capítulo, se explicarán dos tipos especiales de células: las de tecnología de grupo (GT, del inglés *group technology*) y las de un trabajador y múltiples máquinas (OWMM, del inglés *one-worker, multiple-machines*). Un *FMS* es un grupo de estaciones de trabajo controladas por computadora, en las que se manejan los materiales y se cargan las máquinas automáticamente. Estas tecnologías ayudan a conseguir la repetibilidad, aun cuando los volúmenes del producto sean demasiado bajos para justificar que una línea entera se dedique exclusivamente a un producto, porque reúnen en un centro todos los recursos necesarios para producir toda una familia de partes.

distribución de posición fija
Distribución en la que el sitio donde se presta el servicio o se fabrica el producto es fijo, por lo cual los empleados, junto con sus herramientas y equipo, acuden al lugar para realizar su trabajo.

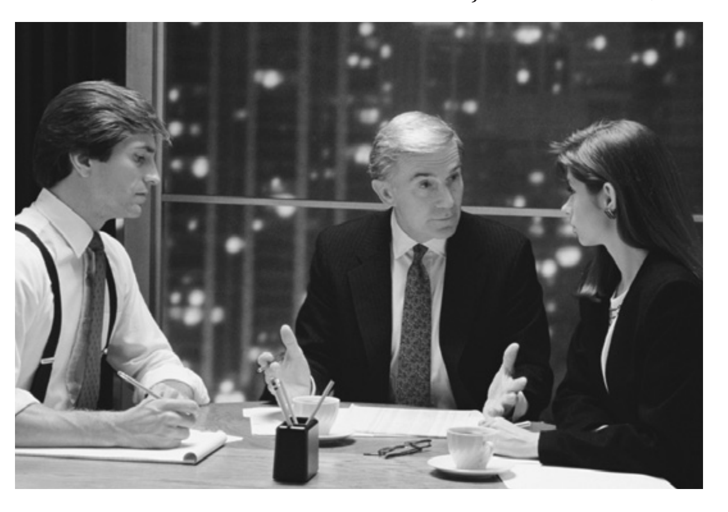
Distribución de posición fija El cuarto tipo básico de distribución es la **distribución de posición fija**. En esta distribución, el sitio donde se presta el servicio o se fabrica el producto es fijo, por lo cual los trabajadores, junto con sus herramientas y equipo, acuden al lugar para realizar su trabajo. Muchos proyectos tienen esta disposición. Este tipo de distribución conviene cuando el producto es particularmente grande o difícil de movilizar, como sucede en la construcción de un nuevo complejo de oficinas, la fabricación de barcos, el ensamble de locomotoras, la fabricación de cámaras enormes de alta presión, la construcción de presas o la reparación de calderas domésticas. Una distribución de posición fija minimiza el número de ocasiones en que es necesario movilizar el producto, y frecuentemente constituye la única solución viable.

CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Otras decisiones fundamentales que tiene que tomar la persona encargada de planificar la distribución se refieren a los *criterios de desempeño,* los que pueden incluir uno o varios de los siguientes factores:

- Satisfacción del cliente
- Nivel de inversión de capital
- Necesidades para el manejo de materiales
- Facilidad de selección de existencias
- Ambiente de trabajo y "atmósfera" apropiada
- Facilidad para el mantenimiento del equipo
- Actitudes de los empleados y clientes internos
- Grado de flexibilidad necesaria
- Comodidad del cliente y nivel de ventas

Desde las primeras fases del proceso, los gerentes tienen que decidir qué factores deberán resaltar para encontrar una buena solución de distribución física. En la mayoría de los casos se aplican criterios múltiples. Por ejemplo, el gerente de un almacén puede poner énfasis en la facilidad para manejar los inventarios, la flexibilidad y la cantidad de espacio necesario (inversión de capital).



Un consultor financiero explica las opciones disponibles a una joven pareja en su hogar. Este proceso tiene una distribución de posición fija porque el consultor va al domicilio de los clientes para prestar sus servicios.

Satisfacción del cliente Cuando el contacto con el cliente (ya sea externo o interno) es alto y el cliente esta presente y participa activamente cuando se proporciona un servicio, la satisfacción del cliente es una medición clave del desempeño. La distribución usa el "lenguaje espacial" para comunicar las prioridades competitivas asociadas con el servicio. La distribución puede influir en aspectos como la lealtad del cliente, la conexión emocional, la comodidad del cliente y el nivel de ventas. Por ejemplo, el gerente de una tienda minorista puede resaltar la atmósfera, satisfacción del cliente, flexibilidad y ventas como los principales criterios de desempeño. Las ventas son especialmente importantes para la distribución de las instalaciones de comercio minorista, donde los gerentes colocan los artículos con alta rentabilidad por metro cúbico de espacio en anaquel en las áreas de exhibición más prominentes y los artículos que se compran por impulso cerca de la entrada de la caja registradora. Una buena distribución depende de cómo se cumplen las distintas mediciones de satisfacción del cliente y hasta qué punto se

comunican las prioridades competitivas que el propietario desea que los clientes experimenten. Por supuesto, también hay que tomar muy en cuenta factores como los gastos de capital y la flexibilidad.

Inversión de capital El espacio de piso, las necesidades de equipo y los niveles de inventario representan activos que la empresa compra u obtiene en alquiler. Estos gastos son un criterio importante en todas las situaciones. Si la distribución de una oficina requiere la colocación de paredes divisorias para aumentar la privacidad, el costo se eleva. Hasta un aumento del espacio para colocar archiveros incide en los costos. Un archivero lateral con cuatro gavetas ocupa casi nueve pies cuadrados, si se incluye el espacio necesario para abrirlo. A razón de $25 por pie cuadrado, esto se traduce en un "alquiler" de espacio de piso de $225 al año.



Los muebles modulares y las divisiones en esta oficina confieren gran flexibilidad. Los componentes empleados para construir las estaciones de trabajo pueden acomodarse, como las piezas de un juego para armar, a fin de configurar el espacio como se desee. Dicha flexibilidad permite crear distribuciones completamente nuevas conforme van cambiando las necesidades de la empresa.

Manejo de materiales Las localizaciones relativas de los centros deben restringir los grandes flujos a distancias cortas. Los centros entre los cuales se requieren desplazamientos o interacciones frecuentes deben colocarse cerca unos de otros. En una planta manufacturera, este enfoque minimiza los costos de manejo de materiales. En un almacén, los costos de manipulación de inventario se reducen cuando los artículos que típicamente se necesitan para el mismo pedido se almacenan unos al lado de otros. En una tienda minorista, la comodidad del cliente es mayor cuando los artículos se agrupan de modo predecible para minimizar el tiempo y la distancia que el cliente recorre para localizarlos. En una oficina, la comunicación y cooperación suelen mejorar cuando las personas o los departamentos que necesitan interactuar con frecuencia están ubicados unos cerca de otros, porque las llamadas telefónicas y los memorandos pueden ser malos sustitutos de la comunicación frente a frente. La separación espacial es un factor importante por el que la coordinación interfuncional entre departamentos puede ser un auténtico reto.

Flexibilidad Una distribución flexible permite que la empresa se adapte con rapidez a las necesidades y preferencias cambiantes de los clientes, y es la más conveniente para muchas situaciones. **Flexibilidad de la distribución** significa que la instalación seguirá siendo atractiva después de ser sometida a cambios significativos o que será posible adaptarla con facilidad y a precio económico en respuesta a los cambios. Esos cambios pueden darse en la mezcla de clientes que serán atendidos por la tienda, los productos fabricados en una planta, los requisitos de espacio en un almacén o la estructura organizativa de una oficina. El uso de muebles modulares y divisiones, en lugar de muros de carga permanentes, es una forma de minimizar el costo de los cambios en la distribución de las oficinas. Lo mismo sucede cuando una planta cuenta con espacios amplios (menos columnas), pisos de alta resistencia y conexiones eléctricas adicionales.

flexibilidad de la distribución
La propiedad de una instalación de seguir siendo atractiva después de ser sometida a cambios significativos o de poder adaptarla con facilidad y a precio económico en respuesta a los cambios.

En el comercio minorista, el colmo de la flexibilidad son los kioscos donde se exhibe una diversidad de artículos novedosos y especializados que se venden en los pasillos centrales de los centros comerciales. Éstos tienen una variedad siempre cambiante de mercancía que transforma los pasillos, que en alguna época fueron sólo de servicio, en lugares donde el comercio prospera. Los kioscos se encuentran precisamente en el lugar por el que los clientes tienen que caminar y crean un torrente de compras por impulso.

Otros criterios Entre los demás criterios que pueden ser importantes figuran: productividad de la mano de obra, mantenimiento de la maquinaria, ambiente de trabajo y estructura de la organización. Es posible que la productividad de la mano de obra resulte afectada si ciertas estaciones de trabajo pueden ser operadas por el mismo personal en algunas distribuciones, pero no en otras. Las dificultades en el manejo de los materiales creadas por una mala distribución física pueden causar tiempos de inactividad mientras se espera la llegada de los materiales.

> CREACIÓN DE DISTRIBUCIONES HÍBRIDAS <

Cuando los volúmenes no son tan altos como para que se justifique dedicar una línea de múltiples trabajadores a un solo tipo de cliente o producto, los gerentes todavía pueden aprovechar los beneficios de la distribución de flujo en línea (manejo más sencillo de los materiales, tiempos cortos de preparación y costos menores de mano de obra), si crean distribuciones de flujo en línea en algunas secciones de la instalación. Dos técnicas para crear distribuciones híbridas son: las células de un trabajador, múltiples máquinas (OWMM) y las células de tecnología de grupo (GT).

UN TRABAJADOR, MÚLTIPLES MÁQUINAS

célula de un trabajador, múltiples máquinas (OWMM)
Célula formada por una persona en la que un trabajador opera varias máquinas diferentes al mismo tiempo para producir un flujo en línea.

Si los volúmenes no son suficientes para mantener ocupados a varios trabajadores en una línea de producción, el gerente puede establecer una línea pequeña que mantenga ocupado a un solo trabajador. Una célula formada por una persona es la teoría en la que se basa la **célula de un trabaja-**

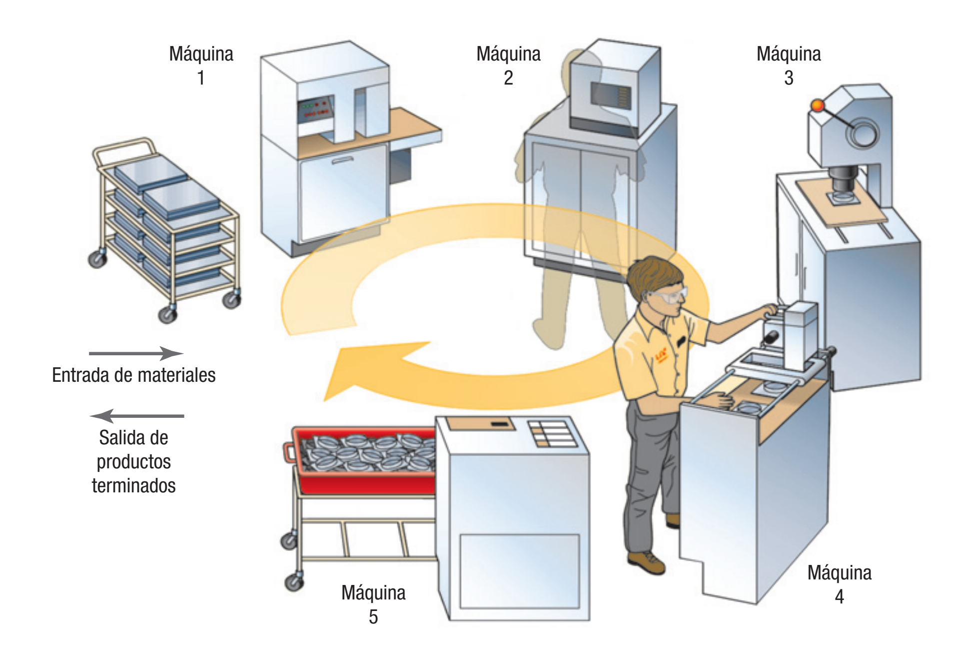


FIGURA 8.3

Célula de un trabajador, múltiples máquinas (OWMM)

dor, múltiples máquinas (OWMM), en la que un trabajador opera varias máquinas diferentes al mismo tiempo para producir un flujo en línea. No es raro que un trabajador maneje varias máquinas idénticas. Sin embargo, en una célula OWMM, la línea está integrada por varias máquinas diferentes.

La figura 8.3 ilustra una célula OWMM constituida por cinco máquinas, que se usa para producir una parte biselada de metal, colocando las máquinas en círculo con un operador en el centro. (También es común colocar las máquinas en una disposición en forma de U). El operador se mueve alrededor del círculo, realizando las tareas que no están automatizadas (en general, las de carga y descarga). Es posible producir diferentes productos o partes en una misma célula OWMM, si se modifican los ajustes de las máquinas. Si el ajuste inicial de una máquina para fabricar una parte es especialmente laborioso, la gerencia puede agregar a la célula otra máquina similar a fin de utilizarla cuando se tenga que fabricar dicha parte.

Una disposición OWMM reduce las necesidades tanto de inventario como de mano de obra. El inventario se reduce porque los materiales pasan directamente a la siguiente operación, en lugar de amontonarse en filas de espera. La mano de obra se reduce porque el trabajo está más automatizado. La adición de varios dispositivos automatizados de bajo costo puede maximizar el número de máquinas incluidas en una disposición OWMM, como: cambiadores automáticos de herramientas, cargadores y descargadores, dispositivos de arranque y detención, y mecanismos a prueba de fallos que detectan las partes o los productos defectuosos. Los fabricantes japoneses están aplicando ampliamente el concepto de OWMM, por su deseo de reducir los inventarios.

TECNOLOGÍA DE GRUPO

tecnología de grupo (GT)

Opción para lograr distribuciones de flujo en línea con procesos de bajo volumen; esta técnica crea células que no se limitan a un solo trabajador, y tiene una forma única para seleccionar el trabajo que se realizará en la célula.

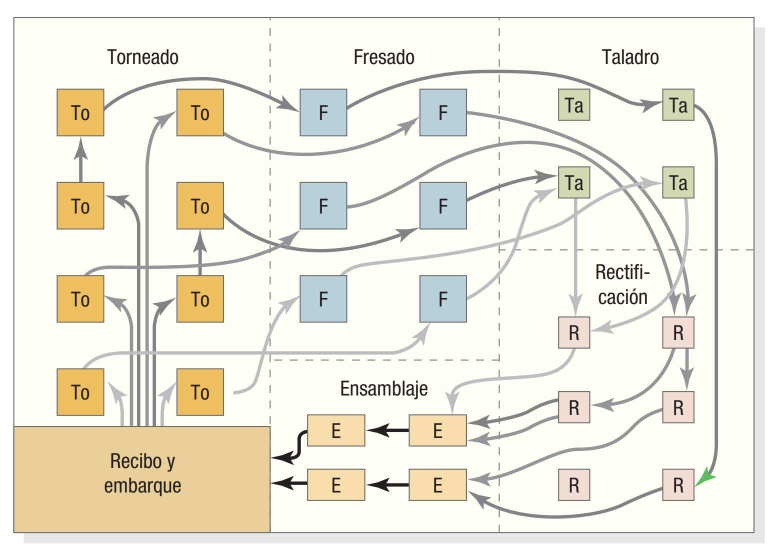
Una segunda opción para lograr distribuciones de flujo en línea con procesos de bajo volumen es la **tecnología de grupo (GT)**. Esta técnica de manufactura genera células que no se limitan a un solo trabajador, y tiene una forma única para seleccionar el trabajo que se realizará en la célula. En el método GT, las partes o productos con características similares se agrupan en *familias* y se reservan grupos de máquinas para su producción. Las familias pueden basarse en el tamaño, la forma, los requisitos de manufactura o la ruta, o bien, en la demanda. El objetivo es identificar un conjunto de productos que tenga requisitos de procesamiento similares y minimizar los cambios o ajustes para la preparación de las máquinas. Por ejemplo, todos los pernos podrían asignarse a la misma familia porque, independientemente de su forma o tamaño, todos requieren los mismos pasos básicos para su procesamiento.

Una vez que las partes se han agrupado en familias, el siguiente paso consiste en organizar las máquinas herramientas necesarias para realizar los procesos básicos que las partes requieren, en células separadas. Las máquinas de cada célula requieren solamente ajustes menores para pasar de la producción de una parte a la siguiente, dentro de la misma familia. Debido a que las rutas que recorren los productos se simplifican, las células GT reducen el tiempo que cada trabajo permanece en el taller. Así se acortan o eliminan las filas de espera de los materiales que van a utilizarse. Con frecuencia, el manejo de materiales se ha automatizado para que, después de cargar las materias primas en la célula, el trabajador no tenga que manipular las partes maquinadas sino hasta que todo el trabajo esté terminado.

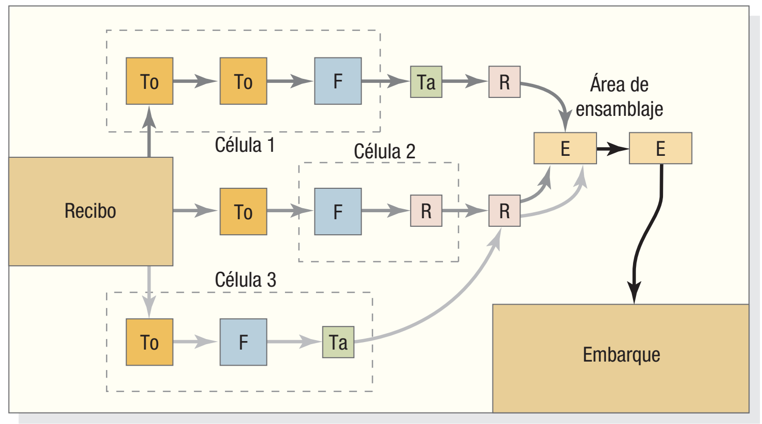
FIGURA 8.4

Flujos de procesos antes y después del uso de células GT

Fuente: Mikell P. Groover. *Automation, Production Systems, and Computer-Aided Manufacturing.* 1st Edition, © 1980. Reprinted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.



(a) Flujos complicados en un taller de producción intermitente sin células GT



(b) Flujos en línea en un taller de producción intermitente con tres células GT

En la figura 8.4 se presenta una comparación de flujos de procesos antes y después de la creación de células GT. La figura 8.4(a) muestra un taller donde las máquinas están agrupadas de acuerdo con la función que realizan: tornos, fresadoras, taladradoras, rectificadoras y ensamblaje. Una vez que una parte ha sido torneada, pasa a alguna de las fresadoras, donde espera en fila hasta que su grado de prioridad sea más alto que el de cualquiera otro de los trabajos que compiten por la capacidad disponible de la máquina. Cuando la operación de fresado de la parte ha finalizado, ésta pasa a una máquina taladradora, y así sucesivamente Las filas de espera pueden ser largas, lo que provoca retrasos considerables. Los flujos de materiales llegan a ser muy complicados porque las partes que se procesan en cualquier área del taller se desplazan por muchas rutas diferentes.

En cambio, el gerente del taller ilustrado en la figura 8.4(b) ha identificado tres familias de productos que representan la mayor parte de la producción de la empresa. Una de esas familias requiere siempre dos operaciones de torneado, seguidas de una operación en las máquinas fresadoras. La segunda familia siempre requiere una operación de fresado, seguida de una operación de rectificación. La tercera familia requiere la utilización de un torno, una fresadora y la prensa taladradora. Para simplificar, aquí sólo se muestran los flujos de las partes asignadas a esas tres familias. Las partes restantes se fabrican en máquinas que están fuera de esas células, y también tienen rutas muy complicadas. Puede ser necesario duplicar algunas piezas del equipo, como cuando se requiere una máquina para una o varias células y para otras operaciones fuera de dichas células. Sin embargo, al crear tres células GT, el gerente ha creado en definitiva más flujos en línea y rutas más sencillas.

> DISEÑO DE DISTRIBUCIONES DE FLUJO FLEXIBLE <

El método para diseñar una distribución física depende de si se ha elegido una distribución de flujo flexible o una de flujo en línea. En el formato de posición fija se elimina, en esencia, el problema de la distribución física, en tanto que en el diseño de una distribución híbrida se aplican algunos de los principios de la distribución de flujo flexible y algunos otros de la distribución de flujo en línea.

La distribución de flujo flexible comprende tres pasos básicos, ya sea que el diseño corresponda a una distribución nueva, o constituya la revisión de una ya existente: (1) reunir información; (2) crear un plano de bloques, y (3) diseñar una distribución física detallada.

PASO 1: REUNIR INFORMACIÓN

La Oficina de Administración de Presupuesto (OAP), que es una de las principales divisiones del gobierno de un estado grande, tiene 120 empleados asignados a seis diferentes departamentos. Se trata de una de varias divisiones que ocupan una torre de oficinas relativamente nueva. Las cargas de trabajo han aumentado hasta el grado que se ha hecho necesario contratar a 30 nuevos empleados que hay que acomodar de algún modo en el espacio asignado a la OAP. Mientras se realizan los cambios en la distribución, también conviene revisarla para asegurar que quede organizada de la mejor manera posible. El objetivo es mejorar la comunicación entre los empleados que tienen que interactuar y crear un buen ambiente de trabajo. Se necesitan tres tipos de información para empezar a diseñar la distribución revisada de la OAP: (1) requisitos de espacio por cada centro; (2) espacio disponible, y (3) factores de proximidad.

Requisitos de espacio por centro La OAP ha agrupado sus procesos en seis departamentos diferentes: administración, servicios sociales, instituciones, contabilidad, educación y auditoría interna. Los requisitos precisos de espacio para cada departamento, expresados en pies cuadrados, son los siguientes:

Departamento	Área necesaria (pies cuadrados)
1. Administración	3,500
2. Servicios sociales	2,600
3. Instituciones	2,400
4. Contabilidad	1,600
5. Educación	1,500
6. Auditoría interna	3,400
Total	15,000

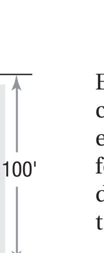


FIGURA 8.5

Plano de bloques actual para la Oficina de Administración de Presupuesto

plano de bloques

Plano en el que se asigna espacio y se indica la posición de cada departamento.

matriz de cercanía

Tabla que da una medida de la importancia relativa de cada par de centros que se localizan cerca uno de otro.

El diseñador de distribución tiene que relacionar los requisitos de espacio con los planes de capacidad y personal; calcular las necesidades específicas de equipo y espacio para cada centro y dejar espacio suficiente de circulación, como pasillos y accesos similares. En la OAP, debe encontrarse la forma de incluir a los 150 empleados en el área asignada. Las consultas con los gerentes y empleados interesados pueden contribuir a evitar que opongan demasiada resistencia al cambio y facilitar la transición.

Espacio disponible En un **plano de bloques** se asigna espacio y se indica la posición de cada departamento. Para describir la distribución de una nueva instalación, el plano sólo necesita mostrar las dimensiones y las asignaciones de espacio dentro de la instalación. Cuando se va a modificar la distribución de una instalación existente, también se requiere el plano de bloques actual. El espacio disponible en la OAP es de 150 por 100 pies, o 15,000 pies cuadrados. El diseñador podría empezar su trabajo dividiendo la cantidad total de espacio en seis bloques iguales (de 2,500 pies cuadrados cada uno). La aproximación de espacios iguales que se muestra en la figura 8.5 es suficiente hasta antes de llegar a la etapa de distribución detallada, cuando se asigna más espacio a los departamentos grandes (como el de administración) que a los pequeños.

Factores de cercanía El diseñador de la distribución también debe saber qué centros tienen que estar situados cerca unos de otros. La siguiente tabla muestra la **matriz de cercanía** de la OAP, que da una medida de la importancia relativa de cada par de centros que se localizan cerca uno de otro. La unidad de medición utilizada depende del tipo de procesos de que se trate y la situación organizativa. Puede ser un juicio cualitativo sobre una escala del 0 al 10 que el gerente usa para tomar en cuenta múltiples criterios de desempeño, como en el caso de la OAP. Sólo se emplea la parte derecha de la matriz. Los factores de cercanía son indicadores de la necesidad de proximidad con base en un análisis de los flujos de información y la necesidad de celebrar reuniones cara a cara. Estos factores dan indicios de qué departamentos deben situarse cerca unos de otros. Por ejemplo, la interacción más importante es entre los departamentos de administración y auditoría interna en la OAP, con una calificación de 10. Este factor de cercanía se da en la primera fila y la última columna. En consecuencia, el diseñador debe situar los departamentos 1 y 6 muy cerca uno de otro, lo que no ocurre en la distribución actual. Las entradas en las columnas y filas dan como resultado cinco calificaciones de factores para cada departamento.

	Factores de cercanía					
Departamento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1. Administración	—	3	6	5	6	10
2. Servicios sociales		—	8	1	1	
3. Instituciones			—	3	9	
4.Contabilidad				—	2	
5.Educación					—	1
6. Auditoría interna						—

En una planta manufacturera, el factor de cercanía podría ser el número de viajes (o alguna otra medida del movimiento de los materiales) entre cada par de centros al día. Para obtener esta información se puede realizar un muestreo estadístico y entrevistar a supervisores y trabajadores encargados del manejo de los materiales, o usar las rutas y frecuencias de los pedidos de artículos típicos que se fabrican en la planta.

Otras consideraciones Por último, la información recopilada para la OAP incluye criterios de desempeño que dependen de la localización *absoluta* de cada departamento. La OAP tiene dos criterios basados en la localización absoluta:

1. Educación (departamento 5) debe quedarse donde está ahora porque se encuentra junto a la biblioteca de la oficina.
2. Administración (departamento 1) debe quedarse donde está ahora porque en ese lugar se encuentra la sala de juntas más grande, que el personal de administración utiliza con frecuencia. Sería muy costoso reubicar la sala de juntas.

Los niveles de ruido y las preferencias de la gerencia representan otras fuentes potenciales de criterios de desempeño que dependen de la localización absoluta. La matriz de cercanía no puede reflejar estos criterios porque en ella se reflejan solamente consideraciones de localización *relativa*. El diseñador de la distribución física tendrá que hacer una lista por separado de dichos criterios.

PASO 2: CREAR UN PIANO DE BLOQUES

El segundo paso en el diseño de la distribución consiste en crear un plano de bloques que satisfaga mejor los criterios de desempeño y los requisitos de área. La forma más elemental de hacer esto es mediante el método de ensayo y error. Como el éxito depende de la habilidad del diseñador para detectar los patrones contenidos en los datos, este método no garantiza la selección de la mejor solución, o siquiera de una que se le aproxime. Sin embargo, si se complementa con el uso de una computadora para evaluar las soluciones, las investigaciones demuestran que este método se compara muy favorablemente con otras técnicas computarizadas más complejas.

Creación de un plano de bloques — EJEMPLO 8.1

Cree un plano de bloques aceptable para la Oficina de Administración de Presupuesto, siguiendo el método de ensayo y error. El objetivo es localizar los departamentos que tienen más interacción (factor de cercanía mayor) tan cerca unos de otros como sea posible.

SOLUCIÓN

Un buen punto de partida son las calificaciones de cercanía más altas (por ejemplo, de más de 8). Comenzando con las calificaciones más altas de los factores y avanzando en la lista hacia abajo, podría planear la localización de los departamentos como sigue:

a. Departamentos 1 y 6 cercanos entre sí,
b. Departamentos 3 y 5 cercanos entre sí,
c. Departamentos 2 y 3 cercano entre sí.

Los departamentos 1 y 5 deberán quedarse en sus localizaciones actuales, en virtud de las "otras consideraciones"

Si al cabo de varios intentos no logra satisfacer los tres requisitos, suprima uno o más de éstos y vuelva a intentar. Si consigue satisfacer los tres requisitos con facilidad, agregue otros (como los correspondientes a las interacciones clasificadas por debajo de 8).

El plano de bloques de la figura 8.6 muestra una solución obtenida por ensayo y error que satisface los tres requisitos. Para empezar, los departamentos 1 y 5 deben mantenerse en sus localizaciones originales. Puesto que el primer

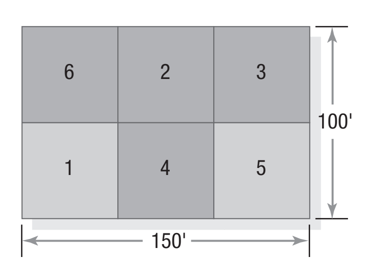


FIGURA 8.6
Plano de bloques propuesto

requisito es que los departamentos 1 y 6 estén cerca uno del otro, se colocará el 6 en la esquina superior izquierda de la distribución. El segundo requisito es que los departamentos 3 y 5 estén juntos, para lo cual se colocará el 3 en el espacio que está inmediatamente arriba del 5, y así sucesivamente.

Punto de decisión Esta solución del problema se obtuvo con facilidad, pero tal vez no sea la mejor distribución. La gerencia debe tomar en consideración varias alternativas de distribución antes de tomar la decisión definitiva y necesita cierta medida de la eficacia con la cual comparar las otras distribuciones.

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DISTANCIA PONDERADA

método de distancia ponderada
Modelo matemático que se usa para evaluar distribuciones de flujo flexible con base en factores de proximidad.

Cuando las localizaciones *relativas* constituyen una preocupación primordial, como se requiere para que el flujo de información, la comunicación, el manejo de los materiales y la manipulación de inventarios resulten eficaces, se puede usar el método de distancia ponderada para comparar distintos planos de bloques. El **método de distancia ponderada** es un modelo matemático que se usa para evaluar distribuciones de flujo flexible con base en factores de proximidad. Un método parecido, que a veces se conoce como *método de carga-distancia,* se puede usar para evaluar la localización de las instalaciones. El objetivo es seleccionar una distribución (o localización de la instalación) que minimice las distancias ponderadas totales. La distancia entre dos puntos se expresa asignando los puntos a coordenadas de la cuadrícula en un diagrama de bloque o mapa. Otro método consiste en usar el tiempo en lugar de la distancia.

distancia euclidiana
La distancia en línea recta, o el trayecto más corto posible, entre dos puntos.

Mediciones de la distancia Para un cálculo aproximado, que es todo lo que se necesita para el método de distancia ponderada, se puede usar una medición de distancia euclidiana o rectilínea. La **distancia euclidiana** es la distancia en línea recta, o el trayecto más corto posible, entre dos puntos. Para calcular esta distancia, se crea un gráfico. La distancia entre dos puntos, digamos, los puntos A y $B,$ es:

$$d_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$$

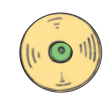
donde

d_{AB} = distancia entre los puntos A y B
x_A = coordenada x del punto A
y_A = coordenada y del punto A
x_B = coordenada x del punto B
x_B = coordenada y del punto B

distancia rectilínea
La distancia entre dos puntos con una serie de giros de 90°, como las manzanas de casas de una ciudad.

La **distancia rectilínea** mide la distancia entre dos puntos con una serie de giros de 90°, como las manzanas de casas de una ciudad. La distancia recorrida en la dirección x es el valor absoluto de la diferencia en las coordenadas x. Sumando este resultado al valor absoluto de la diferencia en las coordenadas $y,$ se tiene que:

$$d_{AB} = |x_A - x_B| + |y_A - y_B|$$



TUTOR 8.1
El tutor 8.1 en el CD-ROM del estudiante presenta un ejemplo para calcular las mediciones de distancia euclidiana y rectilínea.

Si necesita asistencia para calcular las distancias con cualquiera de estas dos medidas, consulte el Tutor 8.1 en OM Explorer.

Cálculo de los puntajes de distancia ponderada El diseñador trata de minimizar el puntaje de distancia ponderada (*wd,* del inglés *weighted distance*) localizando juntos los centros que tienen calificaciones altas de cercanía.

Para calcular el puntaje *wd* de una distribución, se usa cualquiera de las mediciones de distancia y simplemente se multiplican los puntajes de proximidad por las distancias entre los centros. La suma de esos productos es el puntaje *wd* final de la distribución, que cuanto más bajo sea, tanto mejor será. La localización de un centro se define por sus coordenadas x y y.

EJEMPLO 8.2 **Cálculo del puntaje de distancia ponderada**

¿Cuánto mejor, en términos del puntaje *wd*, es el plano de bloques propuesto mostrado en la figura 8.6 que el plano actual que se presentó en la figura 8.5? Use la medición de distancia rectilínea.

SOLUCIÓN

La tabla acompañante presenta la lista de todos los pares de departamentos que tienen un factor de cercanía diferente de cero en la matriz de cercanía. En la tercera columna, calcule las distancias rectilíneas entre los departamentos en la

distribución actual. Por ejemplo, los departamentos 3 y 5 en el plano actual aparecen en las esquinas superior izquierda e inferior derecha del edificio, respectivamente. La distancia entre los centros de estos bloques es de tres unidades (dos en dirección horizontal y una en dirección vertical). En la cuarta columna, se multiplican los pesos (factores de cercanía) por las distancias y después se suman los resultados para un puntaje wd total de 112 para el plano actual. Cálculos semejantes para el plan propuesto producen un puntaje wd de sólo 82. Por ejemplo, entre los departamentos 3 y 5 hay sólo una unidad de distancia (una en dirección vertical y cero en dirección horizontal).



MODO ACTIVO 8.1

El modelo activo 8.1 en el CD-ROM del estudiante permite evaluar el impacto de cambiar las posiciones de los departamentos de la OAP.

		Plano actual		Plano propuesto	
Par de departamentos	**Factor de cercanía (*w*)**	**Distancia (*d*)**	**Puntaje distancia ponderada (*wd*)**	**Distancia (*d*)**	**Puntaje distancia ponderada (*wd*)**
1, 2	3	1	3	2	6
1, 3	6	1	6	3	18
1, 4	5	3	15	1	5
1, 5	6	2	12	2	12
1, 6	10	2	20	1	10
2, 3	8	2	16	1	8
2, 4	1	2	2	1	1
2, 5	1	1	1	2	2
3, 4	3	2	6	2	6
3, 5	9	3	27	1	9
4, 5	2	1	2	1	2
5, 6	1	2	2	3	3
		Total	112	Total	82

Plano actual

3	6	4
1	2	5

Plano propuesto



Para ser precisos, pudimos haber multiplicado los dos puntajes totales *wd* por 50, porque cada unidad de distancia representa 50 pies. Sin embargo, la diferencia relativa entre los dos totales permanece invariable.

Punto de decisión El puntaje *wd* para la distribución propuesta representa una disminución considerable de 112 a 82, pero la gerencia no está segura de que la mejora compense con creces el costo de reubicar cuatro de los seis departamentos (es decir, todos los departamentos, salvo el 1 y el 5).

Aun cuando el puntaje *wd* de la distribución propuesta en el ejemplo 8.2 representa una mejoría de casi 27%, el diseñador puede lograr algo mejor. Además, primero tendrá que determinar si la distribución revisada justifica el costo de cambiar la localización de cuatro de los seis departamentos. Si los costos de reubicación son demasiado elevados, será necesario encontrar una propuesta menos costosa.

OM Explorer puede ayudar a identificar algunas propuestas que resulten incluso más atractivas. Por ejemplo, una opción consistiría en modificar el plano propuesto, cambiando la localización de los departamentos 3 y 4. Los resultados de la figura 8.7 muestran que el puntaje *wd* de esta segunda revisión no sólo baja a 80, sino que requiere que sólo tres departamentos tengan que ser reubicados, en comparación con la distribución original presentada en la figura 8.5. Tal vez este segundo plano propuesto sea la mejor solución.

PASO 3: DISEÑAR UNA DISTRIBUCIÓN DETALLADA

Después de encontrar un plano de bloques satisfactorio, el diseñador de la distribución debe traducirlo en una representación detallada que muestre la forma y el tamaño exactos de cada centro; la disposición de los elementos (por ejemplo, escritorios, máquinas y áreas de almacenamiento) y la localización de los pasillos, escaleras y otros espacios de servicio. Estas representaciones visuales pueden consistir en dibujos bidimensionales, modelos tridimensionales o gráficos realizados con ayuda de una computadora. Este paso ayuda a quienes toman las decisiones a analizar la propuesta y los problemas que, en otras condiciones, podrían pasar inadvertidos. Dichas representaciones visuales son especialmente importantes cuando se evalúan procesos con un alto grado de contacto con los clientes.

FIGURA 8.7

Segundo plano de bloques propuesto (analizado con el solver de distribución de flujo flexible)

(●) Distancias rectilíneas ( ) Distancias euclidianas

Par de departamentos	Factor de cercanía	Distancia	Puntaje
1, 6	10	1	10
3, 5	9	1	9
2, 3	8	1	8
1, 3	6	1	6
1, 5	6	2	12
1, 4	5	3	15
1, 2	3	2	6
3, 4	3	2	6
4, 5	2	1	2
2, 4	1	1	1
2, 5	1	2	2
5, 6	1	3	3
		Total	80

6	2	4
1	3	5

OTRAS HERRAMIENTAS AUXILIARES PARA TOMAR DECISIONES

programa automatizado para diseño de distribución física (ALDEP)
Paquete de software para computadora con el que se puede construir una buena distribución física desde el principio, agregando un departamento a la vez.

En la actualidad hay varios paquetes de software avanzados para diseñar distribuciones de flujo flexible más complejas. El **programa automatizado para diseño de distribución física (ALDEP)** (del inglés *automated layout design program*) es un paquete de software para computadora con el que se puede construir una buena distribución física desde el principio, agregando un departamento a la vez. Por tratarse de un método heurístico, proporciona buenas soluciones en general, pero no necesariamente la mejor.

técnica computarizada para la asignación relativa de recursos (CRAFT)
Método heurístico que comienza con la matriz de cercanía y una distribución inicial de bloques, y hace una serie de intercambios de pares de departamentos para encontrar un mejor plano de bloques.

Otro potente paquete de software para computadora, la **técnica computarizada para la asignación relativa de recursos (CRAFT)** (del inglés *computerized relative allocation of facilities technique*), es un método heurístico que comienza con la matriz de cercanía y una distribución inicial de bloques. A partir de un plano de bloques inicial (o solución inicial), CRAFT evalúa todos los posibles intercambios de pares de departamentos. El intercambio que provoca la mayor reducción en el puntaje *wd* total se incorpora a una nueva solución inicial. Este proceso continúa hasta que ya no es posible encontrar más intercambios capaces de reducir el puntaje *wd*.

DISTRIBUCIÓN DE ALMACENES

Los almacenes son uno de los centros neurales invisibles del comercio electrónico. Se parecen a las plantas manufactureras por el hecho de que los materiales se transportan entre varios centros de actividad. Gran parte de la exposición anterior acerca de las distribuciones de flujo flexible es aplicable a los almacenes. Sin embargo, éstos representan un caso especial porque el proceso central de un almacén es el almacenamiento. En esencia, el almacén recibe artículos en la plataforma de descarga y los lleva a un área de almacenamiento. Más tarde, los operarios retiran unidades del inventario para surtir cada uno de los pedidos que hacen los clientes.

Hay varias opciones disponibles para la distribución de almacenes. En primer término, varias formas de utilizar el espacio ofrecen opciones adicionales de distribución. Por ejemplo, un almacén de 82,000 pies cuadrados (7,618 metros cuadrados) de extensión y 32 pies (10 metros) de altura, provisto de anaqueles, puede alojar el mismo volumen que un almacén de 107,000 pies cuadrados (9,940 metros cuadrados) y techo bajo; la mayor productividad en la manipulación del inventario que se registra en el almacén de techo alto compensa los costos adicionales de anaqueles y equipo. En otro diseño ideado para ahorrar espacio, se asigna a todos los materiales entrantes al espacio desocupado más cercano, en lugar de enviarlos a un área predeterminada donde se acumulan todos los artículos similares. Un sistema computarizado lleva el control de la localización de cada artículo. Cuando llega el momento recuperar alguno de ellos, el sistema imprime su localización en la nota de embarque y le muestra la ruta más corta al encargado de ir a recogerlo.

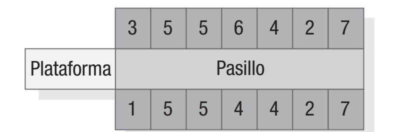


FIGURA 8.8

Distribución afuera y atrás de un almacén

En segundo lugar, los diferentes patrones de distribución ofrecen aún más opciones. El patrón de distribución más básico es el *patrón afuera y atrás,* que se ilustra en la figura 8.8. Los artículos se recogen de uno por uno y el estibador va y viene de la plataforma de descarga al área de almacenamiento. En la figura 8.8, el área de almacenamiento 1 podría destinarse a guardar los tostadores; el área de almacenamiento 2 podría ser para los aparatos de aire acondicionado, y así sucesivamente. Algunos artículos necesitan más espacio que otros, dependiendo de su tamaño y requisitos de inventario. En general, los artículos de alto volumen se almacenan más cerca de la plataforma con este patrón de distribución. En un *sistema de recolección por ruta,* el operario selecciona los diversos artículos que habrán de enviarse a un cliente. En un *sistema de recolección por lotes*, el empleado recoge la cantidad necesaria de un artículo para atender un grupo de pedidos de los clientes que se enviarán en el mismo camión o furgón de ferrocarril. Por último, en el *sistema de zonas*, el empleado a cargo de recoger la mercancía reúne todos los artículos necesarios

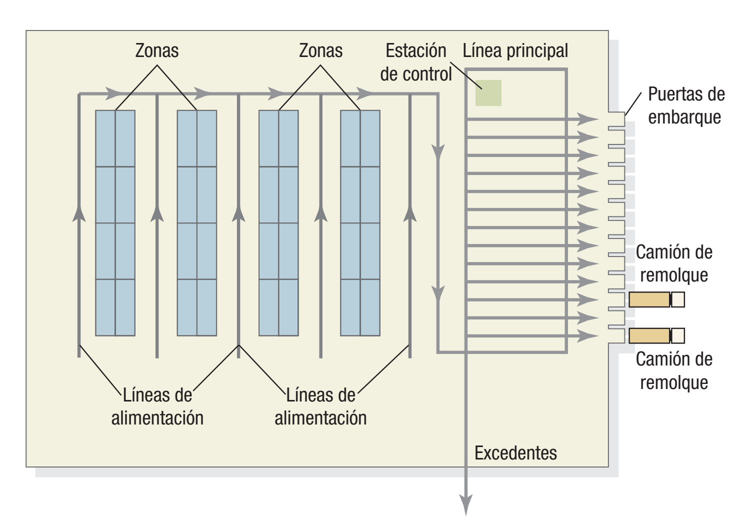


FIGURA 8.9

Sistema de zonas de un almacén

en su zona asignada y los coloca en una banda transportadora motorizada. La figura 8.9 ilustra el sistema de zonas en un almacén. La línea transportadora está constituida por cinco líneas de alimentación y una línea principal. Cuando la mercancía llega a la estación de control, un operador la dirige al camión de remolque correspondiente para enviarla a su destino. La ventaja del sistema de zonas es que los operarios que recogen la mercancía no tienen que desplazarse por todo el almacén para surtir los pedidos. Sólo son responsables de su respectiva zona.

DISTRIBUCIÓN DE OFICINAS

Más de 40% de la fuerza de trabajo de Estados Unidos labora en oficinas, y la distribución física de éstas suele afectar tanto la productividad como la calidad de vida laboral. En una encuesta reciente, tres cuartas partes de un total de 1400 empleados entrevistados afirmaron que la productividad se elevaría si se hicieran mejoras en sus respectivos ambientes de trabajo.

Proximidad El hecho de tener acceso fácil a los compañeros de trabajo y a los supervisores mejora la comunicación y desarrolla el interés mutuo. Las conversaciones tienden a ser más formales a medida que los individuos se encuentran a mayores distancias unos de otros. El famoso estudio Hawthorne, realizado en 1939, demostró que el entorno físico de trabajo influye en la formación de grupos. En ese estudio, la gerencia utilizó el lenguaje espacial para comunicar a los trabajadores que integraban el grupo experimental que los consideraba importantes. Otros estudios más recientes confirman que la proximidad con otros puede ayudar al empleado a percibir con claridad lo que se espera de él en el trabajo y en otros aspectos.

En otros procedimientos más formales para diseñar distribuciones de oficinas, se intenta maximizar la proximidad de los trabajadores cuyos empleos requieren interacción frecuente. Este enfoque puede implementarse con el método de distancia ponderada. Es posible usar ciertos procedimientos para identificar las agrupaciones naturales de trabajadores que deberán considerar-

Dos vistas de la distribución de un moderno almacén donde se guardan aproximadamente 16 millones de libros en inventarios y se procesan entre 2,000 y 5,000 pedidos diarios.



Las cajas de los volúmenes que se venden con mayor rapidez se apilan fuera de los anaqueles de flujo en la "zona dorada", donde se almacenan los 80 títulos de mayor venta. Estos libros representan alrededor de 50% de todos los envíos. Las cajas completas se recogen aquí en respuesta a pedidos específicos.



Una banda transportadora situada al nivel del suelo traslada las cajas de libros al área de empaque. Ahí, las cajas pasan por una balanza computarizada que las pesa mientras están en movimiento y compara el peso total del paquete con la suma de pesos de los títulos individuales.

se como centros en los planos de bloques. El objetivo de esos métodos consiste en diseñar distribuciones en torno de los flujos de trabajo y los patrones de comunicación.

Privacidad Otro factor clave en el diseño de oficinas (el cual, en cierto modo, depende de la cultura) es la privacidad. Las interrupciones externas y el hacinamiento pueden afectar negativamente el desempeño del trabajador. En las oficinas centrales mundiales de Sperry Rand y de McDonald's, las reacciones de los empleados ante las oficinas abiertas fueron favorables. Sin embargo, cuando una compañía periodística trató de aumentar la proximidad entre sus trabajadores y convirtió los espacios de trabajo privados en un plano de oficinas abiertas, los resultados fueron desalentadores. Estudios realizados en varios departamentos de gobiernos estatales revelaron una fuerte relación entre la privacidad y la satisfacción del empleado con el supervisor y el empleo.

Opciones para la distribución de oficinas El objetivo de proporcionar tanto proximidad como privacidad a los empleados plantea un dilema a la gerencia. La proximidad se consigue abriendo el área de trabajo. La privacidad se obtiene con normas de espacio más liberales, cielos rasos deflectores, puertas, muros divisorios y alfombras gruesas que absorben el ruido; es decir, con características caras que reducen la flexibilidad de la distribución. Por eso, la gerencia tiene que encontrar el justo medio entre la proximidad y la privacidad. Ningún tipo de espacio se ajusta a lo que quieren todos los trabajadores. Por ejemplo, Microsoft, en Redmond, Washington, descubrió que los desarrolladores de software realizan mejor su trabajo en un espacio privado y tranquilo. Sin embargo, el personal de ventas y marketing trabaja en una combinación de espacios privados y abiertos; se hace hincapié en facilitar la interacción entre el personal de ventas y el de marketing y en proporcionar espacios amplios para las reuniones con los clientes. Las oficinas de soporte de productos operan en espacios abiertos en un 90%.

Existen cuatro enfoques diferentes: distribuciones tradicionales, ambiente de oficina, escenarios de actividades y cabañas (*cottages*) electrónicas. Para seleccionar la opción más conveniente, es necesario comprender los requisitos de trabajo, a la fuerza laboral en sí misma y la filosofía de trabajo de la alta dirección.

Las distribuciones tradicionales requieren oficinas cerradas para la gerencia y para los empleados cuyo trabajo requiere privacidad, y áreas abiertas (o barracas) para todos los demás. La distribución resultante se puede caracterizar por largos pasillos bordeados por puertas cerradas, lo cual produce aislamiento considerable, y por áreas abiertas llenas de escritorios en hileras dispuestas uniformemente. En las distribuciones tradicionales, cada persona tiene asignado un sitio. Con estas disposiciones, la localización, tamaño y mobiliario denotan la jerarquía de la persona en la organización.

Un método desarrollado en Alemania a fines de la década de 1950 propone colocar a todos (incluida la alta dirección) en un área abierta. La idea es favorecer una cooperación más estrecha entre los empleados de *todos* los niveles. Una ampliación de este concepto se conoce como *ambiente de oficina*: con plantas atractivas, pantallas y divisiones portátiles, se propicia la privacidad y se integran o separan los diversos grupos. Las estaciones de trabajo y los accesorios móviles ayudan a mantener la flexibilidad. En virtud de que las estaciones de trabajo (o cubículos) sólo son semiprivadas, es posible que a los empleados les resulte difícil concentrarse o que se sientan incómodos cuando tienen que discutir asuntos delicados. En este tipo de distribución, los costos de construcción son hasta 40% más bajos que los de distribuciones tradicionales, y los costos de la reubicación son todavía más bajos.

Los *escenarios de actividades* representan un concepto relativamente nuevo que intenta conseguir tanto la proximidad como la privacidad. Toda la gama de necesidades laborales queda cubierta con múltiples centros de trabajo, los cuales incluyen biblioteca, instalación para teleconferencias, áreas de recepción, sala de conferencias, área especial de gráficas y terminales compartidas. Los empleados pasan de un escenario de actividades al siguiente, según lo requiera su trabajo en el transcurso del día. Cada persona cuenta también con una pequeña oficina personal que constituye su base. En la Práctica administrativa 8.2 se describe una transición reciente al concepto de escenarios de actividades.

Cada vez más empleados trabajan en su casa o en oficinas de barrio, conectados con la oficina principal por medio de computadoras. Este enfoque, conocido como *teletransportación* o de *cabañas* (*cottages*) *electrónicas*, representa una versión moderna de las industrias de "cabaña" que existieron antes de la Revolución Industrial. Además del ahorro en el tiempo de desplazamiento, ofrece flexibilidad en los horarios de trabajo. Por ejemplo, muchos hombres y mujeres que trabajan y tienen hijos prefieren esa mayor flexibilidad. Más de nueve millones de estadounidenses han probado ya este arreglo y trabajan por lo menos parte de la semana desde su hogar. Sin embargo, la teletransportación también tiene sus desventajas, como la falta de equipo, exceso de interrupciones de la familia y muy pocas oportunidades de interacción.

> DISEÑOS DE DISTRIBUCIONES DE FLUJO EN LÍNEA <

Las distribuciones de flujo en línea plantean cuestiones administrativas totalmente diferentes de las que corresponden a las distribuciones de flujo flexible. Conocida a menudo como línea de producción o de ensamblaje, la distribución de flujo en línea organiza las estaciones de trabajo en se-

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 8.2 TRANSICIÓN DE UNA DISTRIBUCIÓN TRADICIONAL A ESCENARIOS DE ACTIVIDADES EN ABB

ABB, líder mundial en tecnologías de automatización y electrificación, tiene aproximadamente 100,000 empleados ubicados cerca de los clientes en casi 100 países. ABB USA, por sí sola, tiene más de 100 establecimientos. Uno de ellos es un edificio de oficinas en Westerville, Ohio, que se centra en la automatización y el equipo de control de procesos. Es sede de más de 200 ingenieros, científicos, técnicos, especialistas en marketing y recursos humanos, y gerentes de cadenas de suministros, que proporcionan servicios a empleados y clientes de todo el mundo, como desarrollo de software para equipo nuevo, diagnóstico de problemas de equipo, capacitación de clientes y empleados en nuevas instalaciones y reparación de partes de equipos de clientes que ya se encuentran en el campo. Casi todos los empleados tenían oficinas privadas con puertas y divisiones de piso a techo en su anterior espacio de oficinas. En la actualidad, tienen espacios de oficina más pequeños, que oscilan entre los más pequeños de 7 por 9 pies y los más grandes de 10 por 12 pies. Los muros divisores miden desde 4 pies (1.20 metros) hasta 7 pies (2.10 metros) para las estaciones de los gerentes. Las estaciones de trabajo se construyeron con divisiones y muebles modulares para poder reorganizarlas según lo exijan las necesidades futuras. En esencia, las estaciones de trabajo contienen una cubierta de escritorio, un teléfono, una computadora y área de archivo limitada. Hay poco espacio para sillas adicionales. Aunque las nuevas estaciones de trabajo son mucho más pequeñas y menos privadas, casi todos los empleados prefieren este nuevo espacio de oficinas por varias razones.

Los empleados presentaron sugerencias sobre sus necesidades de oficina antes de mudarse. Un "capitán de piso" asignado a cada planta consultó a los empleados respecto a sus necesidades de espacio, equipo y proximidad. El haber participado en el diseño de las instalaciones dio a los empleados una sensación de "convencimiento" y responsabilidad. Todos tienen acceso a las áreas comunes, que incluyen salas de conferencias, salones para clientes y empleados por igual, instalaciones especiales para trabajo de laboratorio, barras de café, fotocopiadoras, archivos centrales, cabinas de teléfono para conversaciones privadas y caballetes móviles con rotafolios y pizarras blancas. La anterior biblioteca de ingeniería ya no es necesaria porque ahora todo se puede conseguir en línea. Muchas salas de conferencias son pequeñas y personales, con sólo tres o cuatro sillas. El America's Room, a menudo llamado "sala del consejo", es el salón más grande y tiene cabida para 40 personas holgadamente. Las presentaciones se pueden ver ya sea en una pantalla de proyección en uno de los extremos del salón o en una pantalla de plasma en el otro extremo. El salón puede dividirse en dos con facilidad si se necesitan dos salas de juntas más pequeñas en algún momento.

Los empleados se comunican ahora más fácilmente con sus colegas. El edificio tiene instalaciones inalámbricas para que los empleados puedan sacar sus computadoras portátiles de las estaciones de trabajo y llevarlas a otros salones para cambiar de ambiente. El espacio está agradablemente amueblado y adornado con cuadros y plantas. El espacio de los ventanales es amplio, y la luz entra por muchas direcciones. El ruido blanco se transmite a las áreas y puede regularse para amortiguar áreas especialmente ruidosas. Los espacios comunes son acogedores y confortables.

Incluso las salas de conferencias tienen nombres que refuerzan la familiaridad. Las del primer piso tienen nombres de árboles, porque la industria de la pulpa y el papel (como para las fábricas de papel) es uno de los principales clientes de ABB. El segundo piso aloja las áreas de marketing e ingeniería; las salas de conferencias llevan el nombre de científicos, físicos y matemáticos. El tercer piso es para la dirección corporativa, y las salas llevan el nombre de destinos internacionales. ABB también está equipada en todo el mundo con *Sametime*, una plataforma IBM Lotus de mensajería instantánea y conferencias Web para facilitar la colaboración en tiempo real entre empleados, equipos, proveedores y clientes que se encuentran en zonas geográficas dispersas. El gerente de la cadena de suministros en la instalación de Westerville, por ejemplo, puede conversar virtualmente por medio del intercambio de información basada en texto, audio o video en tiempo real. Celebra conferencias Web para compartir información, una aplicación o presentaciones en equipo. Muchos ingenieros del centro de trabajo usan estas capacidades para comunicarse con sus homólogos europeos y aprovechar al máximo el tiempo de todos. Estas conferencias virtuales amplían la gama de comunicaciones más allá del teléfono, el correo electrónico y las reuniones personales. También mejoran los tiempos de respuesta específicos para cada cliente.

Con los escenarios de actividades, las nuevas oficinas de 111,000 pies cuadrados (10,312 metros cuadrados) no sólo ofrecen espacio de trabajo eficaz a sus empleados, sino que ahorran capital de inversión porque son mucho más pequeñas de lo que se necesitaría con un diseño tradicional de oficinas.



Aunque las estaciones de trabajo son pequeñas y semiprivadas, hay algunos *reductos*. Las áreas comunes pueden tener sillones cómodos con espacio para escribir o para colocar la computadora portátil. Los empleados se pueden reunir cómodamente para sostener conversaciones cara a cara en lugar de comunicarse por correo electrónico.

Fuente: Conversación con Charles Rowland en ABB; ww.abb.com.

cuencia. El producto avanza de una estación a la siguiente hasta que sale totalmente terminado al final de la línea. Típicamente, un trabajador opera cada estación y realiza tareas repetitivas. Se acumula poco inventario entre una estación y la siguiente, por lo que las estaciones no pueden operar de manera independiente. Así pues, la línea es tan rápida como la más lenta de sus estaciones de trabajo. En otras palabras, si la estación más lenta requiere cinco minutos por cliente o unidad, la producción más rápida posible de la línea será de un cliente o unidad cada cinco minutos.

BALANCEO DE LÍNEA

balanceo de línea
La asignación del trabajo a estaciones integradas a una línea para alcanzar la tasa de producción deseada con el menor número posible de estaciones de trabajo.

El **balanceo de línea** es la asignación del trabajo a estaciones integradas a una línea para alcanzar la tasa de producción deseada con el menor número posible de estaciones de trabajo. Normalmente, se asigna un trabajador a cada estación. En estas condiciones, la línea que produce al tiempo deseado con el menor número de trabajadores es la más eficiente. Alcanzar esta meta se parece mucho a la teoría de restricciones, porque ambos métodos toman en cuenta los cuellos de botella. El balanceo de línea difiere en cómo aborda los cuellos de botella. En lugar de (1) aceptar nuevos pedidos de los clientes para aprovechar mejor la capacidad de los cuellos de botella, o (2) programar su producción para conservar los recursos cuello de botella, el balanceo de línea sigue un tercer camino. Crea estaciones de trabajo con cargas de trabajo balanceadas de la manera más uniforme posible. Trata de crear estaciones de trabajo de modo que la utilización de la capacidad del cuello de botella no sea mucho más alta que la de las otras estaciones de trabajo en la línea. Otra diferencia es que el balanceo de línea aplica sólo a los procesos lineales en los que se realiza trabajo de ensamblaje, o al trabajo que puede combinarse de muchas maneras para crear proyectos para cada estación de trabajo que integra la línea.

El balanceo de línea debe realizarse durante la preparación inicial de la misma, cuando una línea se rebalancea para modificar su tasa de producción por hora, o cuando se introducen cambios en el producto o el proceso. El objetivo es tener estaciones de trabajo con cargas de trabajo bien balanceadas (por ejemplo, que todas las estaciones tarden aproximadamente 5 minutos por cliente o por unidad procesada).

elementos de trabajo
Las unidades de trabajo más pequeñas que puedan realizarse en forma independiente.

predecesores inmediatos
Elementos de trabajo que deben llevarse a cabo antes de comenzar el siguiente.

El analista comienza por separar las tareas en **elementos de trabajo**, que son las unidades de trabajo más pequeñas que puedan realizarse en forma independiente. A continuación, calcula el estándar de tiempo que corresponde a cada elemento e identifica los elementos de trabajo, llamados **predecesores inmediatos**, que deben llevarse a cabo antes de comenzar el siguiente.

diagrama de precedencia
Diagrama que permite visualizar mejor los predecesores inmediatos; los elementos de trabajo se denotan por medio de círculos, con el tiempo requerido para realizar el trabajo indicado debajo de cada círculo.

Diagrama de precedencia La mayoría de las líneas deben satisfacer algunos requisitos tecnológicos de precedencia; es decir, ciertos elementos de trabajo deben realizarse antes de que los siguientes puedan comenzar. Sin embargo, la mayoría de las líneas permiten también cierta latitud y más de una secuencia de operaciones. Como ayuda para visualizar mejor los predecesores inmediatos, se repasará el proceso de construcción de un **diagrama de precedencia**.[2] Los elementos de trabajo se denotarán por medio de círculos, con el tiempo requerido para realizar el trabajo indicado debajo de cada círculo. Las flechas conducen de los predecesores inmediatos al siguiente elemento de trabajo. El ejemplo 8.3 ilustra un proceso de manufactura, pero un proceso de trastienda con flujo en línea también puede abordarse de la misma manera.

EJEMPLO 8.3 Construcción de un diagrama de precedencia

Green Grass, Inc., fabricante de equipo para prados y jardines, está diseñando una línea de ensamblaje para producir un nuevo aspersor de fertilizante, el Big Broadcaster. A partir de la siguiente información sobre el proceso de producción, construya un diagrama de precedencia para el Big Broadcaster.

Elemento de trabajo	Descripción	Tiempo (seg)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	Atornillar el bastidor con patas a la tolva	40	Ninguno
B	Insertar eje del impulsor	30	A
C	Colocar eje	50	A
D	Colocar agitador	40	B
E	Colocar rueda motriz	6	B
F	Colocar rueda libre	25	C
G	Montar poste inferior	15	C
H	Colocar controles	20	D, E
I	Montar placa de especificaciones	18	F, G
	Total	244	

[2]Las relaciones de precedencia y los diagramas de precedencia son importantes en el contexto, enteramente diferente, de la administración de proyectos.

SOLUCIÓN

La figura 8.10 muestra el diagrama completo. Se empieza con el elemento de trabajo A, que no tiene predecesores inmediatos. A continuación, se agregan los elementos B y C, de los cuales el elemento A es el único predecesor inmediato. Después de introducir los estándares de tiempo y las flechas que muestran la precedencia, se agregan los elementos D y E, y así sucesivamente. El diagrama simplifica la interpretación. Por ejemplo, el elemento de trabajo F se puede realizar en cualquier lugar de la línea después de que el elemento C quede concluido. Sin embargo, el elemento I tendrá que esperar hasta que los elementos F y G estén terminados.

Punto de decisión La gerencia cuenta ahora con información suficiente para diseñar una distribución de flujo en línea que agrupe los elementos de trabajo para formar estaciones de trabajo. La meta es balancear las cargas de trabajo y, al mismo tiempo, minimizar el número de estaciones de trabajo requeridas.

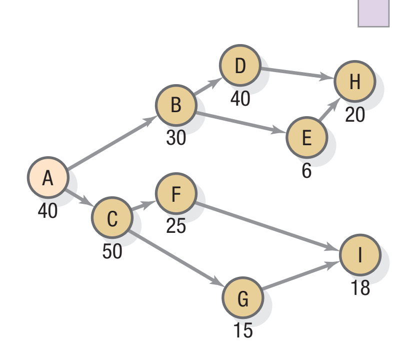


FIGURA 8.10

Diagrama de precedencia para ensamblar el Big Broadcaster

Tasa de producción deseada El objetivo del balanceo de línea es ajustar la tasa de producción al personal o plan de producción. Por ejemplo, si el plan requiere 4000 unidades por semana (clientes o productos) y la línea opera 80 horas semanales, la tasa de producción deseada será, en condiciones ideales, de 50 unidades (4000/80) por hora. El ajuste de la producción a la demanda asegura entregas a tiempo e impide la acumulación de inventario indeseable o retrasos con los clientes. Sin embargo, los gerentes deben abstenerse de rebalancear la línea con demasiada frecuencia, porque cada vez que lo hacen es necesario rediseñar los puestos de muchos trabajadores de la línea, lo que perjudica temporalmente la productividad y, a veces, requiere incluso una nueva distribución detallada de algunas estaciones de trabajo.

Tiempo de ciclo Después de determinar la tasa de producción deseada para una línea, el analista puede calcular el tiempo de ciclo de la línea. El **tiempo de ciclo** de una línea es el tiempo máximo permitido para trabajar en la elaboración de una unidad en cada estación.[3] Si el tiempo requerido para los elementos de trabajo en una estación es mayor que el tiempo de ciclo de la línea, la estación será un cuello de botella que impedirá que la línea alcance la tasa de producción deseada. El tiempo de ciclo establecido como objetivo es el recíproco de la tasa de producción por hora que se desea alcanzar:

tiempo de ciclo

El tiempo máximo permitido para trabajar en la elaboración de una unidad en cada estación.

$$c = \frac{1}{r}$$

donde

c = tiempo de ciclo en horas por unidad

r = tasa de producción deseada en unidades por hora

Por ejemplo, si la tasa de producción deseada para la línea es de 60 unidades por hora, el tiempo de ciclo será $c = 1/60$ hora por unidad, o sea, 1 minuto.

Mínimo teórico Con el fin de alcanzar la tasa de producción deseada, los gerentes usan el balanceo de línea para asignar cada elemento de trabajo a una estación, asegurándose de satisfacer todos los requisitos de precedencia y minimizar el número de estaciones, n, formadas. Si cada estación va a ser operada por un trabajador diferente, la minimización de n maximiza también la productividad del trabajador. El balanceo perfecto se alcanza cuando la suma de los tiempos de los elementos de trabajo en cada estación es igual al tiempo de ciclo, c, y no hay tiempos ociosos en ninguna estación. Por ejemplo, si la suma de los tiempos de los elementos de trabajo correspondientes a cada estación es de 1 minuto, y éste es también el tiempo de ciclo, la línea alcanza el balanceo perfecto. Aunque por lo general no es posible alcanzar el balanceo perfecto en la práctica debido a las irregularidades de los tiempos de los elementos de trabajo y la inflexibilidad de los requisitos de precedencia, éste constituye un parámetro de referencia, o una meta, para determinar el menor número posible de estaciones. El **mínimo teórico (TM)** (del inglés *theoretical minimum*) para el número de estaciones es:

mínimo teórico (TM)

Parámetro de referencia, o meta, que indica cuál es el menor número posible de estaciones, donde el tiempo total requerido para ensamblar cada unidad (la suma de todos los tiempos estándar de los elementos de trabajo) se divide entre el tiempo de ciclo.

$$\text{TM} = \frac{\Sigma t}{c}$$

donde

Σt = tiempo total requerido para ensamblar cada unidad (la suma de todos los tiempos estándar de los elementos de trabajo)

c = tiempo de ciclo

[3]Excepto en el contexto del balanceo de línea, el *tiempo de ciclo* tiene un significado diferente. Es el tiempo transcurrido entre el inicio y el final de un trabajo. Algunos investigadores y profesionales prefieren el término *tiempo de entrega*.

Por ejemplo, si la suma de los tiempos de los elementos de trabajo es de 15 minutos y el tiempo de ciclo es de 1 minuto, entonces TM = 15/1, o sea, 15 estaciones. Todos los valores fraccionales obtenidos para el TM se redondean porque no sería posible usar fracciones de estaciones.

Tiempo ocioso, eficiencia y retraso del balanceo Al minimizar automáticamente n, se garantiza: (1) tiempo ocioso mínimo; (2) eficiencia máxima, y (3) retraso mínimo del balanceo. El tiempo ocioso es el total de tiempo improductivo en todas las estaciones que participan en el ensamblaje de cada unidad:

$$\text{Tiempo ocioso} = nc - \sum t$$

donde

n = número de estaciones

c = tiempo de ciclo

$\sum t$ = total de tiempo estándar requerido para ensamblar cada unidad

La eficiencia es la razón del tiempo productivo al tiempo total, expresado como un porcentaje:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\sum t}{nc}(100)$$

retraso de balanceo

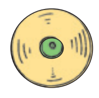
Cantidad que le falta a la eficiencia para alcanzar el 100%:

Retraso de balanceo es la cantidad que le falta a la eficiencia para alcanzar el 100%:

$$\text{Retraso de balanceo (\%)} = 100 - \text{Eficiencia}$$

Siempre que c sea fija, se pueden optimizar las tres metas si se minimiza n.

EJEMPLO 8.4 Cálculo del tiempo de ciclo, mínimo teórico y eficiencia



TUTOR 8.2

El tutor 8.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para calcular estas mediciones de balanceo de línea.

La gerente de la planta de Green Grass acaba de recibir los últimos pronósticos de marketing relativos a las ventas del Big Broadcaster para el año próximo. Ella desea que su línea de producción se diseñe para fabricar 2400 aspersores por semana, durante los próximos 3 meses cuando menos. La planta trabajará 40 horas por semana.

a. ¿Cuál deberá ser el tiempo de ciclo de la línea?

b. ¿Cuál es el menor número de estaciones de trabajo que la gerente podría desear en el diseño de la línea de acuerdo con este tiempo de ciclo?

c. Supongamos que la gerente ha encontrado una solución que requiere solamente cinco estaciones. ¿Cuál sería entonces la eficiencia de la línea?

SOLUCIÓN

a. Convierta primero la tasa de producción deseada (2400 unidades por semana) a una tasa por hora, dividiendo la tasa de producción semanal entre 40 horas por semana para obtener $r = 60$ unidades por hora. Entonces el tiempo de ciclo es:

$$c = \frac{1}{r} - \frac{1}{60}\text{hora/unidad} = 1\text{ minuto/unidad}$$

b. Calcule ahora el mínimo teórico para el número de estaciones, dividiendo el tiempo total, $\sum t$, entre el tiempo de ciclo, c = 1 minuto = 60 segundos. Suponiendo un balanceo perfecto, se tiene que:

$$\text{TM} = \frac{\sum t}{c} = \frac{244\text{ segundos}}{60\text{ segundos}} = 4.067\text{ o } 5\text{ estaciones}$$

c. Calcule ahora la eficiencia de una solución con cinco estaciones, suponiendo por el momento que es posible encontrar dicha solución:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\sum t}{nc}(100) = \frac{244}{5(60)}(100) = 81.3\%$$

Punto de decisión Así, si la gerente encuentra una solución con cinco estaciones, ése es el mínimo número posible de estaciones. Sin embargo, la eficiencia (llamada a veces *eficiencia máxima teórica*) será sólo de 81.3%. Tal vez la línea debería trabajar menos de 40 horas por semana y los empleados deberían ser transferidos a otros tipos de trabajo cuando la línea no opera.

Cómo encontrar una solución Con frecuencia, puede haber muchas soluciones posibles para una línea de ensamblaje, aun en problemas tan sencillos como el de Green Grass. La meta es agrupar los elementos de trabajo en estaciones de trabajo para: (1) minimizar el número de estaciones de trabajo requeridas, y (2) no infringir los requisitos de precedencia y tiempo de ciclo. Aquí se ha seguido el método de ensayo y error para encontrar una solución, aunque también existen paquetes de software comercial. La figura 8.11 muestra una buena solución que crea sólo cinco estaciones de trabajo. Se sabe que cinco es el mínimo posible porque cinco es el mínimo teórico obtenido en el ejemplo 8.4. También se satisfacen todos los requisitos de precedencia y tiempo de ciclo. Por ejemplo, la estación de trabajo S5 consta de los elementos de trabajo E, H e I, que un trabajador realizará en cada unidad que llegue a la línea de ensamblaje. El tiempo de procesamiento por unidad es de 44 segundos (6 + 20 + 18), que no rebasa el tiempo de ciclo de 60 segundos (ejemplo 8.4). Además, los predecesores inmediatos de estos tres elementos de trabajo se han asignado a esta estación de trabajo o las estaciones de trabajo anteriores, de modo que se ha satisfecho su requisito de precedencia. Por ejemplo, el operador de la estación de trabajo S5 puede trabajar en el elemento I en cualquier momento, pero no puede empezar el elemento H sino hasta que el elemento E quede concluido.

OTRAS CONSIDERACIONES

Además de balancear una línea para un tiempo de ciclo dado, los gerentes también deben considerar otras cuatro opciones: (1) movimiento de paso; (2) factores de comportamiento; (3) número de modelos producidos, y (4) tiempos de ciclo.

Movimiento de paso El movimiento del producto de una estación a otra al transcurrir el tiempo de ciclo, se conoce como **movimiento de paso**. Controlar el movimiento de paso de los procesos manufactureros permite automatizar el manejo de los materiales y requiere un área menor de almacenamiento de inventarios. Sin embargo, es menos flexible para manejar las demoras inesperadas que obligan a retrasar toda la línea o a retirar el trabajo inconcluso de la línea para terminarlo después.

movimiento de paso

El movimiento de producto de una estación a otra en cuanto transcurre el tiempo de ciclo.

Factores de comportamiento El aspecto más controvertido de las distribuciones de flujo en línea es la respuesta que provocan en términos de comportamiento. Algunos estudios han demostrado que la instalación de líneas de producción aumenta el ausentismo, la rotación de personal y las quejas. La producción con control del movimiento de paso y la alta especialización (por ejemplo, con tiempos de ciclo de menos de dos minutos) disminuye la satisfacción en el trabajo. En general, los trabajadores prefieren contar con amortiguadores de inventarios como medio para evitar el control mecánico del movimiento de paso. Un estudio demostró incluso que la productividad fue mayor en las líneas sin control de movimiento de paso.

Número de modelos producidos Una **línea de modelos mixtos** produce varios artículos pertenecientes a una misma familia. En cambio, una línea de un solo modelo produce dicho modelo sin variación alguna. La producción de modelos mixtos permite que una planta alcance tanto un alto volumen de producción *como* variedad en sus productos. Sin embargo, eso complica la programación y aumenta la necesidad de que exista una buena comunicación acerca de las partes específicas que habrán de producirse en cada estación.

línea de modelos mixtos

Línea de producción que produce varios artículos pertenecientes a una misma familia.

Tiempos de ciclo El tiempo de ciclo de una línea depende de la tasa de producción deseada (o, en algunas ocasiones, del número máximo de estaciones de trabajo permitidas). A su vez, la eficiencia máxima de la línea varía considerablemente según el tiempo de ciclo seleccionado. Por eso, conviene explorar un rango completo de tiempos de ciclo. Un gerente podría adoptar una solución particularmente eficiente, aunque no coincidiera con la tasa de producción, y compensar el desajuste correspondiente modificando el número de horas que funciona la línea, ya sea por medio de tiempo extra, ampliación de turnos o adición de nuevos turnos. La respuesta podría ser incluso el uso de múltiples líneas.

FIGURA 8.11

Solución del diagrama de precedencia para Big Broadcaster

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

ECUACIONES CLAVE

1. Distancia euclidiana: $d_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$
2. Distancia rectilínea: $d_{AB} = |x_A - x_B| + |y_A - y_B|$
3. Tiempo de ciclo: $c = \frac{1}{r}$
4. Número mínimo teórico de estaciones de trabajo: $\text{TM} = \frac{\Sigma t}{c}$
5. Tiempo ocioso (en segundos): $nc - \Sigma t$
6. Eficiencia (%): $\frac{\Sigma t}{nc}(100)$
7. Retraso de balanceo (%): 100 – Eficiencia

TÉRMINOS CLAVE

balanceo de línea 328
célula de un trabajador, múltiples máquinas (OWMM) 317
centro de actividad económica 312
diagrama de precedencia 328
distancia euclidiana 322
distancia rectilínea 322
distribución de flujo en línea 315
distribución de flujo flexible 314
distribución de posición fija 316
distribución híbrida 315
elementos de trabajo 328
flexibilidad de la distribución 317
línea de modelos mixtos 331
matriz de cercanía 320
método de distancia ponderada 322
mínimo teórico (TM) 329
movimiento de paso 331
planificación de la distribución 312
plano de bloques 320
predecesores inmediatos 328
programa automatizado para diseño de distribución física (ALDEP) 324
retraso de balanceo 330
técnica computarizada para la asignación relativa de recursos (CRAFT) 324
tecnología de grupo (GT) 318
tiempo de ciclo 329

PROBLEMA RESUELTO 1

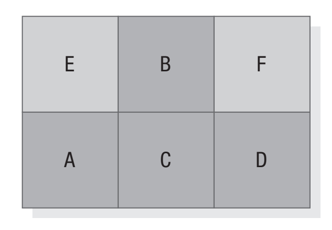


FIGURA 8.12
Distribución actual

Un contratista militar está evaluando la distribución de flujo flexible que existe actualmente en su taller de máquinas. La figura 8.12 muestra la distribución física actual, y la tabla contiene la matriz de cercanía correspondiente a dicha instalación, medida como el número de viajes por día entre pares de departamentos. Las leyes vigentes sobre seguridad y salud pública requieren que los departamentos E y F permanezcan en sus localizaciones actuales.

	Viajes entre departamentos					
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	—	8	3		9	5
B		—		3		
C			—		8	9
D				—		3
E					—	3
F						—

a. Use el método de ensayo y error para encontrar una distribución mejor.

b. ¿En qué medida la distribución que usted encontró es mejor que la actual, en términos de puntaje *wd*? Use distancia rectilínea.

SOLUCIÓN

a. Además de mantener los departamentos E y F en sus localizaciones actuales, en un buen plano se colocarían muy cerca unos de otros los departamentos que forman las siguientes parejas: A y E, C y F, A y B y C y E. La figura 8.13 se obtuvo por medio de ensayo y error y satisface todos esos requisitos. Comience por colocar E y F en sus localizaciones actuales. A continuación, considerando que C tiene que estar lo más cerca posible tanto de E como de F, coloque C en medio de ambos. Coloque A debajo de E, y B al lado de A. Ahora se han atendido debidamente todas las preocupaciones por el tránsito intenso. Al departamento D, situado en el espacio restante, no es necesario reubicarlo.

E	C	F
A	B	D

FIGURA 8.13
Distribución propuesta

		Plano actual		Plano propuesto	
Par de departamentos	Número de viajes (1)	Distancia (2)	Puntaje *wd* (1) × (2)	Distancia (3)	Puntaje *wd* (1) × (3)
A, B	8	2	16	1	8
A, C	3	1	3	2	6
A, E	9	1	9	1	9
A, F	5	3	15	3	15
B, D	3	2	6	1	3
C, E	8	2	16	1	8
C, F	9	2	18	1	9
D, F	3	1	3	1	3
E, F	3	2	6	2	6
			wd = 92		*wd* = 67

b. La tabla revela que el puntaje *wd* disminuye de 92 en el plano actual a 67 en el plano revisado, lo que representa una reducción de 27%.

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Una compañía está estableciendo una línea de ensamblaje para producir 192 unidades por turno de 8 horas. La siguiente tabla muestra los elementos de trabajo, tiempos y predecesores inmediatos.

Elemento de trabajo	Tiempo (seg)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	40	Ninguno
B	80	A
C	30	D, E, F
D	25	B
E	20	B
F	15	B
G	120	A
H	145	G
I	130	H
J	115	C, I
Total	720	

a. ¿Cuál es el tiempo de ciclo deseado (en segundos)?

b. ¿Cuál es el número mínimo teórico de estaciones?

c. Use el método de ensayo y error para encontrar una solución y represente dicha solución en un diagrama de precedencia.

d. ¿Cuáles son la eficiencia y el retraso de balanceo de la solución encontrada?

SOLUCIÓN

a. Sustituyendo en la fórmula para el tiempo de ciclo, se obtiene:

$$c = \frac{1}{r} = \frac{8 \text{ horas}}{192 \text{ unidades}}(3{,}600 \text{ segundos/hora}) = 150 \text{ segundos/unidad}$$

b. La suma de los tiempos de los elementos de trabajo es de 720 segundos, por tanto,

$$\text{TM} = \frac{\sum t}{c} = \frac{720 \text{ segundos/unidad}}{150 \text{ segundos/unidad-estación}} = 4.8 \quad \text{o} \quad 5 \text{ estaciones}$$

lo que tal vez no sea posible lograr.

c. El diagrama de precedencia se muestra en la figura 8.14. Cada fila de la siguiente tabla presenta los elementos de trabajo asignados a cada una de las cinco estaciones de trabajo en la solución propuesta.

Estación	Candidato(s)	Selección	Tiempo del elemento de trabajo (seg)	Tiempo acumulado (seg)	Tiempo ocioso (c = 150 seg)
S1	A	A	40	40	110
	B	B	80	120	30
	D, E, F	D	25	145	5
S2	E, F, G	G	120	120	30
	E, F	E	20	140	10
S3	F, H	H	145	145	5
S4	F, I	I	130	130	20
	F	F	15	145	5
S5	C	C	30	30	120
	J	J	115	145	5

d. Calculando la eficiencia, se obtiene:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum t}{nc}(100) = \frac{720 \text{ segundos/unidad}}{5[150 \text{ segundos/unidad}]}(100)$$
$$= 96\%$$

Por consiguiente, el retraso de balanceo es de sólo 4% (100 − 96).

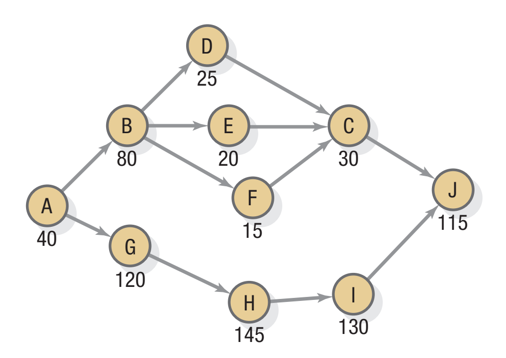


FIGURA 8.14 | Diagrama de precedencia

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. Identifique los tipos de criterios de desempeño de la distribución que pueden ser más importantes en los siguientes lugares:
   a. Aeropuerto
   b. Banco
   c. Salón de clases
   d. Oficina de diseñadores de productos
   e. Bufete de abogados
   f. Fabricación de componentes de hoja metálica
   g. Estacionamiento
   h. Departamento de recursos humanos
2. Describa dos procesos con los que esté familiarizado, uno con una distribución de flujo flexible y el otro con una distribución de flujo en línea. ¿Cómo se relacionan estos diseños de distribuciones con la estructura de los procesos? Explique.

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Baker Machine Company es una empresa especializada en la fabricación de partes de precisión para empresas de la industria aeroespacial. La figura 8.15 muestra el plano de bloques actual correspondiente a los principales centros manufactureros de la instalación, que abarca en total 75,000 pies cuadrados. Consulte la matriz de cercanía que se presenta a continuación y use distancias rectilíneas (actualmente, la distancia de inspección a embarques y recepción es de 3 unidades) para calcular el cambio que se registraría en la distancia ponderada, *wd*, si Baker decidiera intercambiar las localizaciones actuales del depósito de herramientas y de inspección.

Matriz de cercanía						
	Viajes entre departamentos					
Departamento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1. Quitar rebabas y esmerilar	—	8	3		9	5
2. Equipo NC		—		3		
3. Envíos y recepción			—		8	9
4. Tornos y taladros				—		3
5. Depósito de herramientas					—	3
6. Inspección						—

3	4	2
1	5	6

FIGURA 8.15 | Distribución actual

2. Por medio de ensayo y error, encuentre un plano de bloques que sea particularmente adecuado para Baker Machine (véase el problema 1). En vista de los costos excesivos de reubicación, envíos y recepción (departamento 3) deberá quedarse en su localización actual. Compare los puntajes *wd* para evaluar la nueva distribución que proponga, suponiendo una vez más que las distancias son rectilíneas.

3. El jefe del grupo de sistemas de información de Conway Consulting deberá asignar seis nuevos analistas a sus oficinas. La siguiente matriz de cercanía muestra la frecuencia esperada de contacto entre los analistas. El plano de bloques de la figura 8.16 ilustra las localizaciones de las oficinas disponibles (1-6) para los seis analistas. Suponga que todas las oficinas son del mismo tamaño y considere distancias rectilíneas. Por la índole de sus tareas, el analista A debe ser asignado a la localización 4 y el analista D a la localización 3. ¿Cuáles son las mejores localizaciones para los otros cuatro analistas? ¿Cuál es el puntaje *wd* para la distribución que usted propone?

Matriz de cercanía						
	Contactos entre analistas					
Analista	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Analista A	—		6			
Analista B		—		12		
Analista C			—	2	7	
Analista D				—		4
Analista E					—	
Analista F						—

1	2	3
4	5	6

FIGURA 8.16 | Plano de bloques de Conway Consulting

4. Richard Garber es el jefe de diseño de Matthews and Novak Design Company. Se ha encomendado a Garber el diseño de la distribución física de un edificio de oficinas recientemente construido. A partir de muestreos estadísticos realizados en los últimos tres meses, Garber creó la matriz de cercanía aquí ilustrada, que indica los viajes diarios entre las oficinas del departamento.

Matriz de cercanía						
	Viajes entre departamentos					
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	—	25	90			185
B		—			105	
C			—		125	125
D				—	25	
E					—	105
F						—

a. Si no intervienen otros factores, ¿cuáles son las dos oficinas que deberán localizarse más próximas entre sí?

b. La figura 8.17 muestra otra alternativa de distribución del departamento. ¿Cuál es el puntaje total de distancia ponderada para este plano con base en distancias rectilíneas y suponiendo que las oficinas A y B están a 3 unidades de distancia una de otra?

c. ¿Cuáles son los dos departamentos que al intercambiarse mejoran en mayor medida el puntaje total de distancia ponderada?

5. Una empresa formada por cuatro departamentos tiene la siguiente matriz de cercanía y el plano de bloques actual que aparece en la figura 8.18.

a. ¿Cuál es el puntaje de distancia ponderada que corresponde a la distribución actual (suponiendo distancias rectilíneas)?

Matriz de cercanía				
	Viajes entre departamentos			
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**
A	—	12	10	8
B		—	20	6
C			—	0
D				—

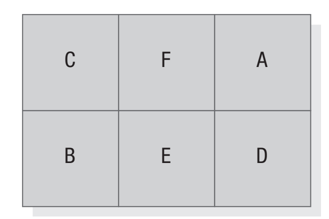


FIGURA 8.17 | Distribución alternativa

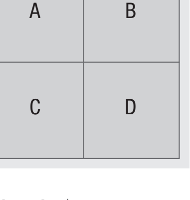


FIGURA 8.18 | Plano de bloques actual

b. Trate de encontrar una distribución mejor. ¿Cuál es el puntaje total de distancia ponderada?

6. El departamento de ingeniería de una universidad de New Jersey debe asignar nuevas oficinas a seis profesores. La matriz de cercanía aquí ilustrada indica el número de contactos diarios esperados entre los profesores. Los espacios de oficina disponibles (1-6) para los seis miembros del profesorado se muestran en la figura 8.19. Suponga que todas las oficinas son del mismo tamaño. La distancia entre las oficinas 1 y 2 (y entre las oficinas 1 y 3) es de 1 unidad.

Matriz de cercanía						
	Contactos entre profesores					
Profesor	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	—		4			
B		—		12		10
C			—	2	7	
D				—		4
E					—	
F						—

a. En virtud de sus posiciones académicas, al profesor A se le debe asignar la oficina 1, al profesor C, la oficina 2, y al profesor D, la oficina 6. ¿A qué profesores deberán asignárseles las oficinas 3, 4 y 5, respectivamente para minimizar el puntaje total de distancia ponderada (suponiendo distancias rectilíneas?

b. ¿Cuál es el puntaje de distancia ponderada de la solución obtenida por usted?

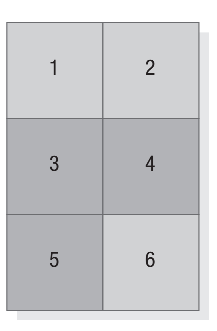


FIGURA 8.19 | Espacio disponible

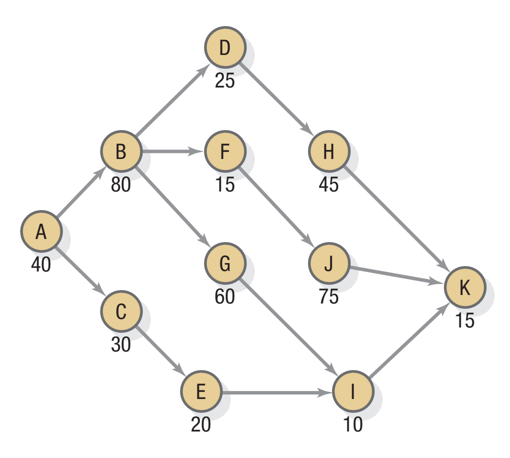


FIGURA 8.20 | Diagrama de precedencia

7. Siga el método de ensayo y error para balancear la línea de ensamblaje descrita en la siguiente tabla y la figura 8.20, de modo que produzca 40 unidades por hora.
   a. ¿Cuál es el tiempo de ciclo?
   b. ¿Cuál es el número mínimo teórico de estaciones de trabajo?
   c. ¿Qué elementos de trabajo están asignados a cada estación de trabajo?
   d. ¿Cuáles son los porcentajes resultantes de eficiencia y retraso de balanceo?

Elemento de trabajo	Tiempo (seg)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	40	Ninguno
B	80	A
C	30	A
D	25	B
E	20	C
F	15	B
G	60	B
H	45	D
I	10	E, G
J	75	F
K	15	H, I, J
Total	415	

8. Johnson Cogs desea establecer una línea para atender a 60 clientes por hora. Los elementos de trabajo y sus relaciones de precedencia se ilustran en la siguiente tabla.
   a. ¿Cuál es el número mínimo teórico de estaciones?
   b. ¿Cuántas estaciones se requieren si se aplica el método de ensayo y error para encontrar la solución?
   c. Suponga que se ha obtenido una solución que requiere cinco estaciones. ¿Cuál será su eficiencia?

Elemento de trabajo	Tiempo (seg)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	40	Ninguno
B	30	A
C	50	A
D	40	B
E	6	B
F	25	C
G	15	C
H	20	D, E
I	18	F, G
J	30	H, I
Total	274	

9. La *línea de acabados interiores* de PW es una pequeña línea de subensamblaje que, junto con otras similares, alimenta la línea de producción del chasis final, Toda la línea de ensamblaje, que consiste en más de 900 estaciones de trabajo, es para fabricar los nuevos automóviles E de PW. La propia línea de acabados interiores incluye solamente 13 elementos de trabajo y debe manejar 20 automóviles por hora. Además de las restricciones de precedencia habituales, existen dos *restricciones de zona*. Primera, los elementos de trabajo K y L deben asignarse a la misma estación; ambos usan un mismo componente y al asignarlos a la misma estación se ahorra espacio de almacenamiento. Segunda, los elementos de trabajo H y J no pueden realizarse en la misma estación. Los datos de los elementos de trabajo son los siguientes:

Elemento de trabajo	Tiempo (seg)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	1.8	Ninguno
B	0.4	Ninguno
C	1.6	Ninguno
D	1.5	A
E	0.7	A
F	0.5	E
G	0.8	B
H	1.4	C
I	1.4	D
J	1.4	F, G
K	0.5	H
L	1.0	J
M	0.8	I, K, L

   a. Dibuje un diagrama de precedencia.
   b. ¿Con qué tiempo de ciclo (en minutos) se obtiene la tasa de producción deseada?
   c. ¿Cuál es el número mínimo teórico de estaciones?
   d. Siguiendo el método de ensayo y error, balancee la línea lo mejor que pueda.
   e. ¿Qué eficiencia tiene su solución?

PROBLEMAS AVANZADOS

10. CCI Electronics fabrica varios productos para la industria de las comunicaciones. Una de sus plantas manufactureras produce un dispositivo para detectar el momento en que se hacen llamadas telefónicas. La tabla 8.1 muestra una matriz de cercanía (que presenta los flujos en ambas direcciones); la distribución actual aparece en la figura 8.21. La gerencia está razonablemente satisfecha con la distribución actual, aunque ha escuchado algunas quejas acerca de la localización de los departamentos D, G, K y L. Use la información de la matriz "desde-hasta" para crear una matriz de cercanía y después, encuentre un plano de bloques revisado para mudar únicamente los cuatro departamentos que han dado lugar a las quejas. Demuestre que el puntaje de distancia ponderada ha mejorado. Suponga distancia rectilínea.

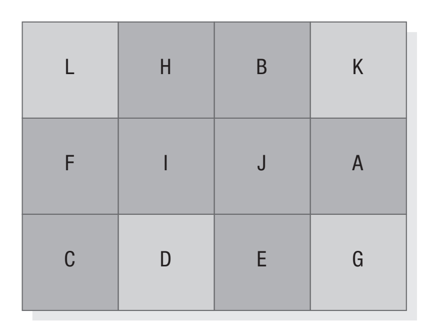


FIGURA 8.21 | Plano de bloques actual

11. Se ha diseñado una línea de ensamblaje con control de movimiento de paso para fabricar calculadoras, como indican los siguientes datos:

Estación	Elemento de trabajo asignado	Tiempo del elemento de trabajo (min)
S1	A	2.7
S2	D, E	0.6, 0.9
S3	C	3.0
S4	B, F, G	0.7, 0.7, 0.9
S5	H, I, J	0.7, 0.3, 1.2
S6	K	2.4

a. ¿Cuál es la tasa de producción máxima por hora de esta línea? (*Sugerencia*: la velocidad a la que puede funcionar esta línea es igual a la de su estación de trabajo más lenta).

b. ¿Qué tiempo de ciclo corresponde a esta tasa de producción máxima?

c. Si hay un trabajador en cada estación y la línea opera a su máxima tasa de producción, ¿cuánto tiempo ocioso se perderá en cada turno de 10 horas?

d. ¿Cuál será la eficiencia de esta línea?

12. El gerente de Sugar Hams desea organizar las tareas que implica la preparación y entrega de jamones. El gerente planea producir 60 jamones por jornada de trabajo de 10 horas. La tabla que aparece en la parte superior de la página siguiente muestra los tiempos de los elementos de trabajo y las relaciones de precedencia.

TABLA 8.1 | Matriz "desde-hasta"

	Viajes entre departamentos											
Departamento	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**	**K**	**L**
A. Formación de guía de red	—											80
B. Formación de cable y subensamblaje		—							50	70		
C. Ensamblaje final			—			120						
D. Almacenamiento de inventario				—	40							
E. Presoldadura				80	—						90	
F. Prueba final						—	120					
G. Almacenamiento de inventario		30					—	40	50			
H. Devanado de bobina								—	80			
I. Ensamblaje de bobina			70		40				—		60	
J. Preparación de la red	90									—		
K. Soldadura			80								—	
L. Inserción de la red			60									—

Elemento de trabajo	Tiempo (min)	Predecesor(es) inmediato(s)
A	3	Ninguno
B	5	A
C	2	B
D	7	B
E	7	C, D
F	6	E
G	2	D, E
H	3	F
I	8	G
J	6	H
K	3	I, J
L	8	K

a. Construya un diagrama de precedencia para este proceso.
b. ¿Qué tiempo de ciclo corresponde a la tasa de producción deseada?
c. Trate de identificar la mejor solución posible en términos de balanceo de línea. ¿Qué elementos de trabajo están asignados a cada estación?
d. ¿Cuál sería el impacto de la solución que usted obtuvo si el tiempo para el elemento de trabajo D aumentara 3 minutos? ¿Y si se redujera en tres minutos?

13. El administrador asociado del Getwell Hospital desea evaluar la distribución física de la clínica para pacientes externos. La tabla 8.2 muestra los flujos entre los departamentos (pacientes/día); la figura 8.22 ilustra la distribución actual.

a. Determine la eficacia de la distribución actual, medida por el puntaje *wd* total, usando distancias rectilíneas.
b. Trate de encontrar la mejor distribución posible, basándose en la misma medida de la eficacia.

TABLA 8.2 | Matriz de cercanía

	Viajes entre departamentos							
Departamento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1. Recepción	—	25	35	5	10	15		20
2. Oficina de negocios		—	5	10	15			15
3. Sala de exámenes			—	20	30	20		10
4. Rayos X				—	25	15		25
5. Laboratorio					—	20		25
6. Cirugía						—	40	
7. Postcirugía							—	15
8. Consultorio médico								—

4	6	5	7
2	8	3	1

FIGURA 8.22 | Distribución actual

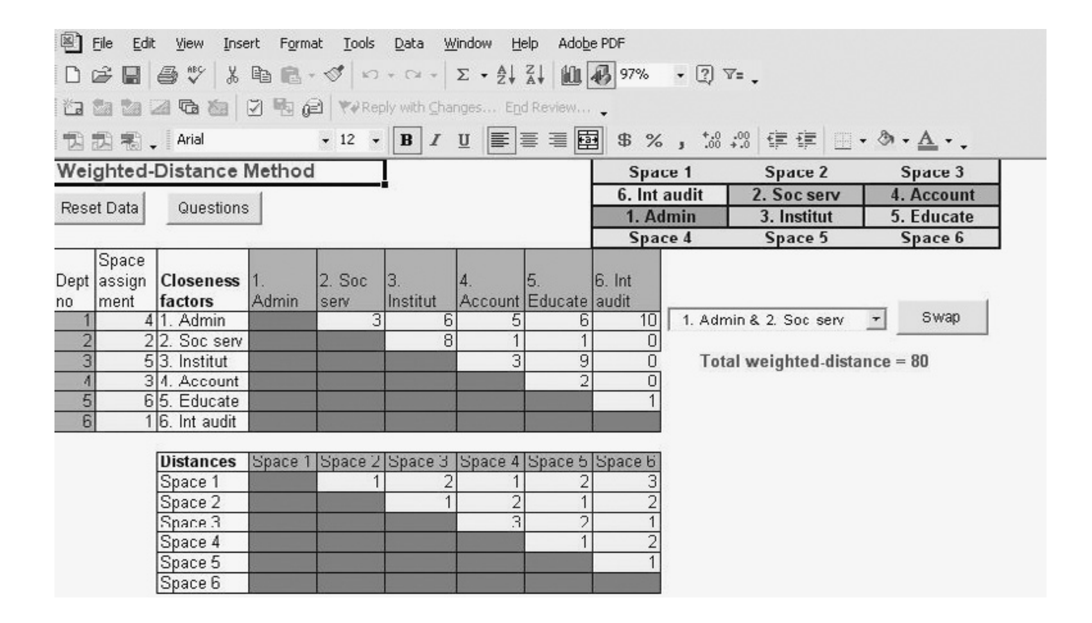
c. ¿Cuál sería el impacto en su nueva solución si tuviera que revisarla para mantener el departamento 1 en su localización actual?
d. ¿Qué revisiones tendrían que hacerse a la distribución obtenida en la parte c si el flujo interdepartamental entre la sala de exámenes y el departamento de rayos X se incrementara en 50%? ¿Y si se redujera en 50%?

> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO <

Este Modelo activo para el ejemplo 8.1 aparece en el CD-ROM del estudiante, en inglés. Le permitirá observar los efectos de realizar cambios en pares de departamentos.

MODELO ACTIVO 8.1

Distribución de flujo flexible basada en los datos del ejemplo 8.1



Space 1	Space 2	Space 3
6. Int audit	2. Soc serv	4. Account
1. Admin	3. Institut	5. Educate
Space 4	Space 5	Space 6

Dept no	Space assignment	Closeness factors	1. Admin	2. Soc serv	3. Institut	4. Account	5. Educate	6. Int audit
1	4	1. Admin		3	6	5	6	10
2	2	2. Soc serv			8	1	1	0
3	5	3. Institut				3	9	0
4	3	4. Account					2	0
5	6	5. Educate						1
6	1	6. Int audit						

Distances	Space 1	Space 2	Space 3	Space 4	Space 5	Space 6
Space 1		1	2	1	2	3
Space 2			1	2	1	2
Space 3				3	2	1
Space 4					1	2
Space 5						1
Space 6						

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es el puntaje total de distancia ponderada actual?
2. Use el botón "Swap" para hacer un intercambio a la vez. Si el intercambio ayuda, avance al siguiente par. Si el intercambio no ayuda, vuelva a pulsar el botón "Swap" para devolver los departamentos a su posición original. ¿Cuál es el puntaje mínimo de distancia ponderada después de haber probado con todos los intercambios?
3. Observe las dos tablas de datos y use la columna sombreada en amarillo para colocar los departamentos en los espacios correspondientes. ¿Qué asignación de espacio produce el costo mínimo? ¿Cuál es este costo?

CASO 1

Hightec, Inc.

"Es difícil de creer", pensó Glenn Moore al entrar al área del comedor para empleados, "que sólo hayan pasado seis años desde que fundé Hightec". No estaba interesado en comer porque apenas eran las 9:30 de la mañana. Su propósito era inspeccionar la nueva microcomputadora que acababa de comprar para mejorar la administración del inventario y las funciones de contabilidad de la compañía. La computadora tendría que instalarse en la parte posterior del área del comedor para empleados, junto a las máquinas expendedoras de café, sopa y chocolate caliente. No había ningún espacio libre para la computadora en otro lugar.

Hightec fabrica transductores, es decir, dispositivos que convierten la presión de un gas o líquido en una señal eléctrica. En otra de sus versiones, estos artefactos convierten un peso o fuerza en una señal eléctrica. El pedido típico de sus clientes incluye solamente entre 3 y 10 unidades. La empresa ocupa actualmente un edificio en forma de L que tiene una superficie de 12,000 pies cuadrados y aloja cuatro secciones básicas: el área de oficinas, un área de ingeniería, un taller de máquinas y un área de ensamblaje. Entre sus 80 empleados figuran maquinistas, ingenieros, ensambladores, secretarias y vendedores.

Aunque Moore se concentró en las finanzas y marketing durante los dos primeros años de existencia de Hightec, ahora sus actividades se enfocan más en los costos de producción, los inventarios y la capacidad. Lan ventas se han incrementado en cerca de 30% al año, y se espera que este crecimiento continúe. Entre los síntomas específicos de los problemas de Hightec figuran los siguientes:

- Las limitaciones de espacio han retrasado la compra de una máquina de control numérico y una máquina de pruebas más eficiente. Ambas máquinas prometen mayor capacidad y productividad, y sus costos podrían justificarse fácilmente.
- El taller de máquinas está tan atestado que el equipo que no se utiliza en forma constante tuvo que ser trasladado al área de almacenamiento de inventarios.
- Un número de máquinas mayor del que normalmente se podría justificar funciona hoy en segundos y terceros turnos. La productividad ha decaído y la calidad se deteriora.
- Aproximadamente 10% del tiempo de la fuerza de trabajo se dedica a acarrear materiales hacia y desde el área de almacenamiento de inventarios, donde se mantienen inventarios de materiales en todas las etapas de producción. La caótica sala de suministros hace que sea muy difícil localizar las partes deseadas y se pierde mucho tiempo en buscarlas.
- Es necesario alquilar un espacio de almacenamiento de aproximadamente 1000 pies cuadrados fuera de la planta.
- La falta de capacidad ha obligado a Moore a abstenerse de licitar en varias oportunidades atractivas de negocios. Una vendedora está especialmente disgustada porque perdió una comisión que pudo haber sido considerable.
- Varios empleados de oficina se han quejado del hacinamiento y la falta de privacidad en que trabajan. La calidad del espacio para los empleados también produce una impresión desfavorable en los clientes en perspectiva que visitan la planta.
- Se acaba de contratar más personal para la oficina. A fin de dejar espacio libre para los escritorios, Moore tuvo que deshacerse de su planta tropical favorita, que era apenas un pequeño brote cuando fundó Hightec y tenía valor sentimental para él.

Las opciones

Glenn Moore ha identificado tres opciones para aumentar la capacidad de Hightec. La primera consiste en renovar el contrato de arrendamiento de las instalaciones actuales por otros cinco años y alquilar unidades portátiles para aliviar las condiciones de hacinamiento. Descartó esta opción por considerarla insuficiente para resolver un problema que va en aumento. La segunda opción es comprar un terreno y construir una nueva instalación de 19,000 pies cuadrados. Un predio en el sitio más atractivo costaría $100,000, y se estima que el costo de construcción sería de $40 por pie cuadrado. Su costo de capital sería de 15% aproximadamente.

La tercera opción consiste en renovar el contrato de arrendamiento del edificio actual por otros cinco años y alquilar un edificio adyacente de 7000 pies cuadrados, que queda a sólo 30 pies del edificio actual. El costo de alquiler de ambos edificios sería de $2800 mensuales. Si Moore eligiera esta tercera opción, tendría que construir un pasillo de $15,000 que comunicara ambos edificios. Sin embargo, Moore estima que los costos de reubicación (como los necesarios para mover e instalar las máquinas y la pérdida de capacidad en el horario normal) serían $20,000 más bajos que con la segunda alternativa.

La distribución

Independientemente de la opción que Moore elija, tiene que mejorar la distribución existente. Ésta tiene problemas en cuanto a los costos de manejo de materiales y coordinación entre departamentos. Cuando Moore diseñó esta distribución, localizó primero la oficina y después fue agregando los demás departamentos alrededor de ella lo mejor que pudo. La principal consideración para los otros departamentos fue no colocar el taller de máquinas junto al cuarto de la limpieza. Moore reunió la información necesaria para planear la nueva distribución, como se aprecia en la tabla 8.3 y la figura 8.23. Los requisitos del área proyectada deberán ser suficientes para los próximos cinco años. Ambas distribuciones están previstas para 19,000 pies cuadrados. La matriz de cercanía se centra en las pautas de manejo de materiales y los patrones de comunicación.

Glenn Moore regresó a su oficina con una taza de café recién preparado en la mano. Detestaba el chocolate caliente y aún era muy temprano para la sopa. Reflexionó en lo que debería hacer. Cualquiera que fuera la decisión, deseaba ofrecer un ambiente de trabajo más atractivo al personal de ingeniería y de administración de la cadena de suministros, instalado actualmente en un atestado espacio de oficinas abiertas. Le había sido difícil atraer a personas creativas de esas especialidades. Moore tomó nota mentalmente de que el edificio adyacente también era bastante monótono.

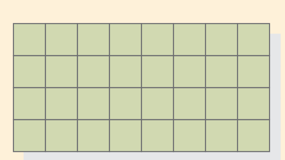
TABLA 8.3 Matriz de cercanía

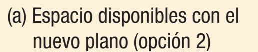
	Calificación de proximidad entre departamentos															
Departamento	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**Área necesaria (bloques*)**
1. Oficina administrativa	—	1	6	5		6	5	3	3	3	3	4	5	3		3
2. Sala de conferencias		—														1
3. Ingeniería y administración de la cadena de suministros			—	4			3	6	5	5	4	5	5		3	2
4. Gerente de producción				—		6	6	6	6	6	4	4	5	3	6	1
5. Comedor					—											2
6. Computadora						—	6					3	4			1
7. Almacenamiento de inventarios							—	6	3	3	3	3				2
8. Taller de máquinas								—	6		4	3			4	6
9. Área de ensamblaje									—	6	6	4		4	6	7
10. Limpieza										—	3	3				1
11. Soldadura											—	3				1
12. Electrónica												—	5			1
13. Ventas y contabilidad													—	3		2
14. Embarques y recepción														—		1
15. Prueba de carga															—	1

*Cada bloque representa aproximadamente 585 pies cuadrados.

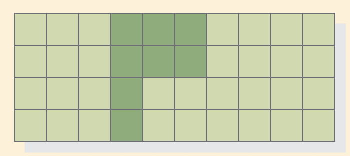
FIGURA 8.23

Espacio disponible para las opciones 2 y 3





(a) Espacio disponibles con el nuevo plano (opción 2)



(b) Espacio disponible con el alquiler de edificios (opción 3)

PREGUNTAS

1. ¿Qué opción de expansión le recomendaría usted a Glenn Moore? Justifique su opinión.
2. Diseñe un plano de bloques eficaz y evalúelo. Mencione todas las consideraciones cualitativas que, a su juicio, hacen que su diseño resulte atractivo.

CASO 2

The Pizza Connection

Dave Collier es propietario y operador de The Pizza Connection, en Worthington, Ohio. El restaurante es una franquicia de una gran cadena nacional de pizzerías; su producto y operaciones son típicos de esa industria. Como muestra la figura 8.24, la instalación esta dividida en dos áreas: la de contacto con el cliente y la de producción de pizzas. Los clientes llegan al restaurante y esperan a que una anfitriona los conduzca hasta su mesa. En el caso de los pedidos para llevar, el cliente va directamente a la caja, al frente del local, y hace su pedido o recoge la pizza que pidió previamente por teléfono. Los camareros y camareras atienden a los clientes que ocupan las mesas; cuando los comensales terminan de comer y la persona que los atendió les entrega la cuenta, se dirigen a la caja a pagar su consumo y se marchan. Durante las horas pico de la comida y la cena, el área de la caja se congestiona mucho con los clientes que esperan sus pedidos para llevar y los que esperan para pagar sus cuentas.

El área de producción de pizzas tiene, en cierto modo, una distribución híbrida. Las principales operaciones que constituyen el proceso de producción de las pizzas, como las tareas de preparación, horneado, recorte y colocación en cajas, están agrupadas en un solo lugar. Estos centros individuales de trabajo están dispuestos en un patrón de flujo flexible alrededor del área de producción.

Históricamente, las operaciones de Collier han sido muy exitosas, ya que se han beneficiado de la gran popularidad que han adquirido las pizzas en todo el país en los últimos años. Para ayudar a la empresa a aprovechar esta tendencia, la oficina matriz de la franquicia proporcionó apoyo coordinado de marketing y publicidad a nivel nacional y regional. También proporcionó un vigoroso soporte para el desarrollo de productos, que produjo una nueva línea de especialidades, diseñadas para ampliar el atractivo del mercado de las pizzas.

Sin embargo, en fechas recientes Collier ha notado una disminución en sus ventas. En los últimos meses, el número de clientes ha bajado continuamente. Después de realizar algunas investigaciones, llegó a las siguientes conclusiones que, a su juicio, explican la caída de las ventas.

Por principio de cuentas, la demanda de los clientes había cambiado. Ya no era suficiente ofrecer pizzas de alta calidad a precio razonable. Los clientes exigían ahora rapidez, comodidad y otras opciones en el menú. Si se trataba de clientes que iban a comer al restaurante, deseaban que se les asignara una mesa, se les sirviera y se les cobrara el consumo rápidamente. Los clientes que hacían pedidos por teléfono para llevar esperaban que sus pedidos estuvieran listos cuando llegaran a recogerlos. Además, las “fiestas” en restaurantes eran una moda cada día más genera-

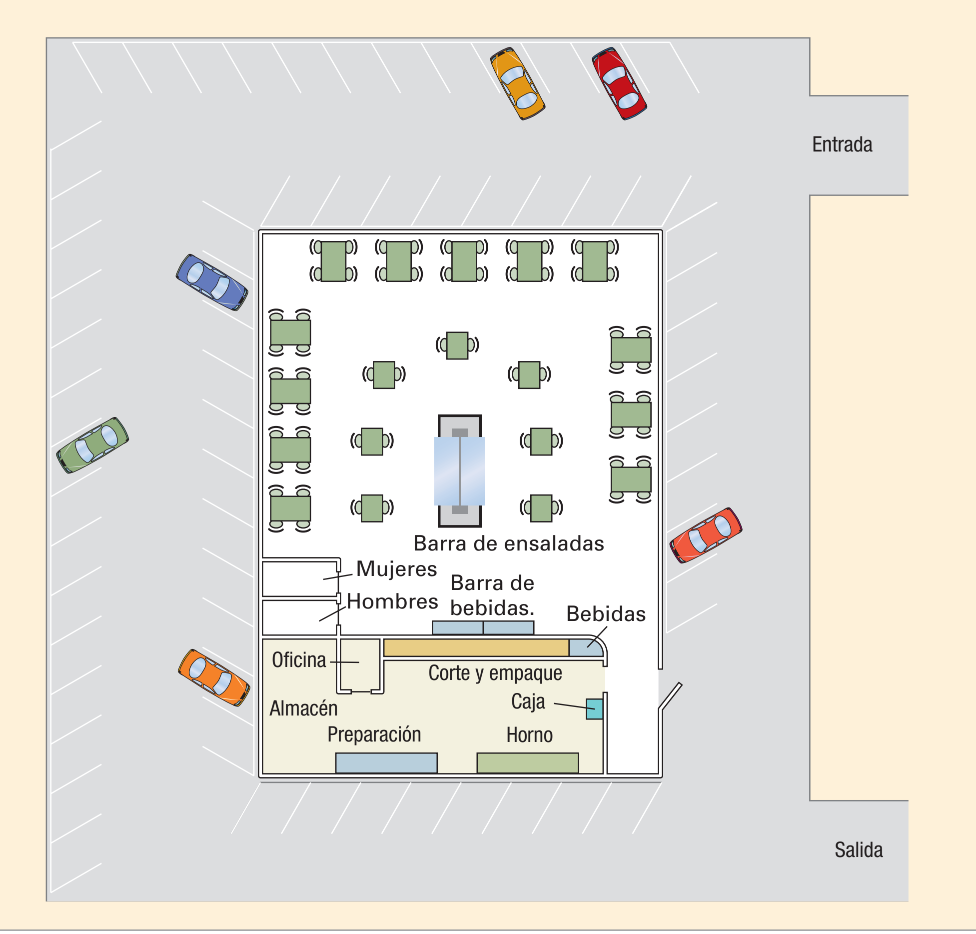


FIGURA 8.24

lizada. Los equipos de las ligas infantiles de béisbol, equipos de fútbol juvenil y grupos que querían celebrar algún cumpleaños representaban una creciente demanda de "espacio para fiestas" en los restaurantes. El estilo de vida dinámico y acelerado de las familias de hoy contribuía a sacar los festejos familiares del hogar, desplazándolos hacia los restaurantes y centros de actividades, como Putt-Putt o Discovery Zone.

Además de esos cambios en la demanda del mercado, Collier había observado un aumento significativo de la competencia por el dinero de los consumidores, en la zona geográfica atendida por su restaurante. El número de establecimientos para comer en el área se triplicó con creces en los dos últimos años. Dichos establecimientos abarcaban desde servicio en el coche hasta restaurantes formales, y cubrían todo el espectro: desde cocina mexicana hasta comida china y desde pollo hasta hamburguesas.

Collier se preguntó cómo debía responder ante lo que acababa de averiguar acerca de su mercado. Consideró que una modificación de la distribución del restaurante le permitiría satisfacer algunas de las demandas cambiantes de los clientes. Esperaba que un cambio en las instalaciones también le ayudara a resolver sus problemas de rotación de personal. Ahora le resultaba difícil conservar a sus camareros más capacitados y sabía que eso elevaba sus costos de mano de obra y provocaba un deterioro del servicio que ofrecía a sus clientes.

PREGUNTAS

1. Modifique la distribución ilustrada en la figura 8.24 para que ésta responda a las demandas de rapidez y comodidad de los clientes.
2. Explique cómo la nueva distribución propuesta por usted resuelve los problemas que Dave Collier identificó.
3. ¿Cómo puede medirse la eficacia de esta nueva distribución?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barry, Curt, "One Warehouse or Two?", *Catalog Age,* 1 de marzo de 2002.

Berry, L., L. Carbone y S. Haeckel, "Managing the Total Customer Experience", *MIT Sloan Management Review*, volumen 43, número 3, primavera de 2002, pp. 85–89.

Bitner, Mary Jo, "Evaluating Service Encounters: The Effects of Physical Surroundings and Employee Response", *Journal of Marketing*, volumen 54, abril de 1990, pp. 69–82.

Bitner, Mary Jo, "Servicescapes: The Impact of Physical Surroundings on Customers and Employees", *Journal of Marketing*, volumen 56, abril de 1992, pp. 57–71.

"Bloomie's Tries Losing the Attitude", *Business Week,* 13 de noviembre de 1995, p. 52.

Bozer, Y. A. y R. D. Meller, "A Reexamination of the Distance-Based Layout Problem", *IIE Transactions*, volumen 29, número 7, 1997, pp. 549–580.

Carbone, L. y S. Haeckel, "Engineering Customer Experience", *Marketing Management*, volumen 3, número 3, invierno de 1994, pp. 8–19.

"Cool Offices", *Fortune,* 9 de diciembre de 1996, pp. 204–210.

"Cummins Engine Flexes Its Factory", *Harvard Business Review,* marzo-abril de 1990, pp. 120–127.

"Deck the Malls with Kiosks", *Business Week*, 13 de diciembre de 1999, p. 86.

Faaland, B. H., T. D. Klastorin, T. G. Schmitt y A. Shtub, "Assembly Line Balancing with Resource Dependent Task Times", *Decision Sciences*, volumen 23, número 2, 1992, pp. 343–363.

Francis, Richard L., Leon F. McGinnis, Jr. y John A. White, *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, 2a. edición, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1992.

Frazier, G. V. y M. T. Spriggs, "Achieving Competitive Advantage Through Group Technology", *Business Horizons*, volumen 39, número 3, 1996, pp. 83–90.

Gupta, S. y M. Vajic, "The Contextual and Dialectical Nature of Experiences", p. 33–51, en Fitzsimmons y Fitzsimmons (eds.), *New Service Development*, Thousand Oaks, CA, Sage Publications Inc., 1999.

Heragu, Sunderesh, *Facilities Design*, Boston, MA, PWS Publishing Company, 1997.

"How Nokia Thrives by Breaking the Rules", *Wall Street Journal,* 3 de enero de 2003.

Hyer, N. L. y K. H. Brown, "The Discipline of Real Cells", *Journal of Operations Management*, volumen 17, número 5, 1999, pp. 557–574.

"Making Malls (Gasp!) Convenient", *Wall Street Journal,* 8 de febrero de 2000.

Oldham, G. R. y D. J. Brass, "Employee Reactions to an Open-Plan Office: A Naturally Occurring Quasi-Experiment", *Administrative Science Quarterly*, volumen 24, 1979, pp. 267–294.

Pesch, Michael J., Larry Jarvis y Loren Troyer, "Turning Around the Rust Belt Factory: The $1.98 Solution", *Production and Inventory Management Journal*, segundo trimestre de 1993.

Pine, B. y J. Gilmore, *The Experience Economy*, Boston, MA, Harvard Business School Press, 1999.

Pinto, Peter D., David Dannenbring y Basheer Khumawala, "Assembly Line Balancing with Processing Alternatives", *Management Science*, volumen 29, número 7, 1983, pp. 817–830.

Pullman, Madeleine E. y Michael A. Gross, "Making the Connection: An Exploration of the Relationship Between Customer Loyalty and Experience Design Elements", documento de trabajo, Colorado State University, febrero de 2003.

"Retailing: Confronting the Challenges That Face Bricks-and-Mortar Stores", *Harvard Business Review,* julio-agosto de 1999, p. 159.

Schuler, Randall S., Larry P. Ritzman y Vicki L. Davis, "Merging Prescriptive and Behavioral Approaches for Office Layout", *Journal of Operations Management*, volumen 1, número 3, 1981, pp. 131–142.

Stone, Phillip J. y Robert Luchetti, "Your Office Is Where You Are", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1985, pp. 102–117.

Sule, D. R., *Manufacturing Facilities: Location, Planning, and Design,* Boston, MA, PWS Publishing Company, 1994.

Suresh, N. C. y J. M. Kay, eds. *Group Technology and Cellular Manufacturing: A State-of-the-Art Synthesis of Research and Practice*, Boston, MA, Kluwer Academic Publishers, 1997.

"The Most Devastating Retailer in the World", *The New Yorker,* septiembre de 2000.

"Tools of the Remote Trade", *Business Week,* 27 de marzo de 2000, p. F20.

Wakefield, K. y G. Blodgett, "The Effect of the Servicescape on Customers' Behavioral Intentions in Leisure Service Settings", *Journal of Services Marketing*, volumen 10, número 6, 1996, pp. 45–61.

Wasserman, V., Rafaeli, A. y A. Kluger, "Aesthetic Symbols as Emotional Cues", pp. 140–165, en Fineman, S. (ed.), *Emotion in Organizations*, Londres, Sage Publications, 2000.

"Will This Open Space Work?", *Harvard Business Review,* mayo-junio de 1999, p. 28.

Winarchick, C. y R. D. Caldwell, "Physical Interactive Simulation: A Hands-On Approach to Facilities Improvements", *IIE Solutions*, volumen 29, número 5, 1997, pp. 34–42.

Wolf, M. J., *The Entertainment Economy: How Mega-Media Forces Are Transforming Our Lives*, Nueva York, Times Books, Random House, 1999.

9

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Identificar las características y las ventajas estratégicas de los sistemas esbeltos.
2. Describir cómo los sistemas esbeltos pueden facilitar el mejoramiento continuo de los procesos.
3. Entender los sistemas *kanban* para crear un programa de producción en un sistema esbelto.*
4. Entender los mapas de flujo de valor y su función en la reducción del desperdicio.
5. Explicar los problemas de implementación asociados con la aplicación de sistemas esbeltos.

* N del RT El término *lean* se utiliza con frecuencia en español como sinónimo de esbelto(a), magro(a) o robusto(a).



El edificio de las oficinas centrales de Toyota Motor Corporation, inaugurado en febrero de 2005 en Toyota City, en la región central de Japón. El Sistema de Producción Toyota es uno de los sistemas esbeltos de manufactura más admirados en el mundo.

CAPÍTULO 9

Sistemas esbeltos

SISTEMA DE PRODUCCIÓN TOYOTA

Si uno tuviera que seleccionar a una compañía que es ejemplo de excelencia en la fabricación de automóviles, probablemente elegiría a Toyota. Con presencia en todo el mundo, en 2004 Toyota tuvo una inversión total de 16,600 millones de dólares en 12 plantas manufactureras en las que trabajan 37,351 empleados que producen 1.44 millones de vehículos sólo en América del Norte. Toyota se colocó a la vanguardia de las empresas que desarrollan sistemas esbeltos de manufactura. Hoy en día, el Sistema de Producción Toyota (TPS, del inglés Toyota Production System) *es uno de los sistemas esbeltos de manufactura más admirados que existen. Sin embargo, es muy difícil reproducir el sistema. ¿Qué es lo que mueve al sistema y por qué Toyota ha podido utilizarlo con tanto éxito en muchas plantas diferentes, mientras que otros fabricantes de automóviles no lo han logrado?*

La mayoría de los observadores externos consideran que el TPS es un conjunto de herramientas y procedimientos que saltan a la vista durante un recorrido por una de las plantas. Aun cuando son importantes para el éxito del TPS, no son la clave. Lo que muchos pasan por alto es que por medio del proceso de mejoramiento continuo, Toyota construyó una organización que aprende en el transcurso de 50 años. Los sistemas esbeltos requieren mejoramiento continuo para aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio. Toyota creó un sistema que estimula a los empleados a experimentar para encontrar formas mejores de realizar su trabajo. En realidad, Toyota establece todas sus operaciones como "experimentos" y enseña a los empleados de todos los niveles a usar el método científico de resolución de problemas.

Cuatro principios forman la base del TPS. Primero, todo el trabajo debe especificarse por completo en cuanto a contenido, secuencia, tiempo y resultado. El detalle es importante, de lo contrario, faltaría la base para el mejoramiento. Segundo, toda conexión con clientes y proveedores debe ser directa y especificar de manera inequívoca la gente que participa, la forma y cantidad de los servicios o bienes que se proporcionarán, la manera en que cada uno de los clientes presenta sus



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario (ambos en inglés) en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

solicitudes y el tiempo esperado en que dichas solicitudes se atenderán. Las conexiones con clientes y proveedores pueden ser internas (de empleado a empleado) o externas (de empresa a empresa).

Tercero, la ruta de cada servicio y producto debe ser sencilla y directa. Esto es, los servicios y productos no fluyen hacia la siguiente persona o máquina disponible, sino hacia una persona o máquina específica. Con base en este principio, los empleados pueden determinar, por ejemplo, si existe algún problema de capacidad en una estación de trabajo en particular y luego analizan la manera de resolverlo.

Los primeros tres principios definen el sistema en detalle, ya que especifican cómo los empleados realizan el trabajo, interactúan entre sí y cómo se diseñan los flujos de trabajo. Sin embargo, estas especificaciones son, en realidad, "hipótesis" sobre la forma en que el sistema debe funcionar. Por ejemplo, si algo sale mal suficientes veces en una estación de trabajo, se rechaza la hipótesis sobre los métodos que sigue el empleado para realizar el trabajo. Así pues, el cuarto principio es que toda mejora en el sistema debe hacerse de acuerdo con el método científico, bajo la guía de un maestro, en el nivel organizacional más bajo posible. El método científico supone plantear con toda claridad una hipótesis verificable de la fórmula: "Si hacemos los siguientes cambios específicos, esperamos obtener este resultado específico". A continuación, la hipótesis debe ponerse a prueba en una variedad de condiciones. Trabajar con un maestro, que a menudo es el supervisor de los empleados, es la clave para llegar a ser una organización que aprende. Los empleados aprenden el método científico y a la larga se convierten en maestros de otros empleados. Por último, realizar las mejoras en el nivel más bajo de la organización significa que los empleados que efectivamente realizan el trabajo participan activamente en la implantación de las mejoras. Se aconseja a los gerentes que sólo orienten a los empleados, pero que no arreglen los problemas.

Estos cuatro principios son engañosamente simples. Sin embargo, es difícil, pero no imposible reproducirlos. Aquellas organizaciones que los implementan con éxito disfrutan de los beneficios de un sistema esbelto que se adapta al cambio. En el caso de Toyota, su sistema esbelto ha convertido a la empresa en un líder innovador en la industria automovilística y ha servido como piedra angular de su éxito.

Fuente: Steven Spear y H. Kent Bowen, "Decoding the DNA of the Toyota Production System", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre de 1999, pp. 97–106; Steven J. Spear, "Learning to Lead at Toyota", *Harvard Business Review*, mayo de 2004, pp 78–86; www.toyota.com, agosto de 2005.

sistemas esbeltos

Sistemas de operaciones que maximizan el valor agregado por cada una de las actividades de una compañía, mediante la reducción de los recursos innecesarios y la supresión de los retrasos en las operaciones.

filosofía justo a tiempo (JIT)

La convicción de que es posible eliminar el desperdicio mediante la reducción de la capacidad o inventario innecesarios y la eliminación de las actividades que no agregan valor en las operaciones.

sistema JIT

Sistema que organiza los recursos, los flujos de información y las reglas de decisión que permiten a una empresa aprovechar los beneficios de los principios JIT.

El Sistema de Producción Toyota (TPS) es un excelente ejemplo de un método para diseñar cadenas de valor conocido como **sistemas esbeltos,** que son sistemas de operaciones que maximizan el valor agregado de cada una de las actividades de una compañía, mediante la reducción de los recursos innecesarios y la supresión de los retrasos en las operaciones. Los sistemas esbeltos abarcan la estrategia de operaciones, diseño de procesos, administración de la calidad, administración de restricciones, diseño de la distribución física, diseño de la cadena de suministro y administración de la tecnología e inventarios de una empresa, y puede usarse tanto en empresas de servicios como manufactureras. Al igual que un fabricante, cada empresa de servicios recibe un pedido de un cliente y después entrega el servicio y cobra ingresos. Cada empresa de servicios compra servicios o artículos, los recibe y los paga y contrata y paga a sus empleados. Cada una de estas actividades se parece mucho a las de una empresa manufacturera. Típicamente, también contienen cantidades enormes de desperdicio. En la primera parte del texto, hablamos de muchas formas para mejorar los procesos, trátese de procesos de manufactura o no. Estos mismos principios pueden aplicarse para hacer esbeltos los procesos de servicio, ya sean diseños de mostrador, oficina híbrida o trastienda. Concluiremos la primera parte del texto con la continuación de esa exposición sobre la administración de los procesos en este capítulo.

Uno de los sistemas más populares que incorporan los elementos genéricos de los sistemas esbeltos es el sistema justo a tiempo (JIT, del inglés *just in time*). La **filosofía justo a tiempo (JIT)** es sencilla, pero eficaz: *eliminar el desperdicio* mediante la reducción del exceso de capacidad o inventario y la eliminación de las actividades que no agregan valor. Las metas son producir servicios y productos según sea necesario y mejorar constantemente los beneficios de las operaciones en términos de valor agregado. Un **sistema JIT** organiza los recursos, los flujos de información y las reglas de decisión que permiten a una empresa aprovechar los beneficios de los principios JIT. Para empezar, se identificarán las características de los sistemas esbeltos en los procesos de servicio y manufactureros. A continuación, se explicará cómo pueden usarse los sistemas esbeltos para mejorar continuamente las operaciones. También se abordarán algunos de los problemas de implementación que enfrentan las compañías que adoptan dichos sistemas.

SISTEMAS ESBELTOS EN LA ORGANIZACIÓN

Los sistemas esbeltos afectan los vínculos internos entre los procesos centrales y auxiliares de una empresa y los vínculos externos que tiene con sus clientes y proveedores. El diseño de las cadenas de valor que usan el método de los sistemas esbeltos es importante para varios departamentos y áreas funcionales de toda la organización. El marketing depende de los sistemas esbeltos para entregar servicios o productos de alta calidad, a tiempo y a precios razonables. Recursos Humanos debe implantar el sistema de incentivos correcto que premie el trabajo en equipo. Este departamento también debe reclutar, capacitar y evaluar a los empleados necesarios para crear mano de obra flexible que pueda operar con éxito un sistema esbelto. Ingeniería debe diseñar productos que tengan más partes en común para que se requieran menos operaciones de preparación y se puedan usar las fábricas enfocadas. Operaciones es responsable de mantener relaciones estrechas con los proveedores y de usar el sistema esbelto en la producción de los bienes y servicios. Contabilidad debe ajustar sus prácticas de facturación y contabilidad de costos para aprovechar los sistemas esbeltos. Por último, la alta dirección debe aceptar la filosofía de los sistemas esbeltos y convertirla en parte de la cultura y aprendizaje de la organización, como se describe que hizo Toyota en la introducción de este capítulo.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ESBELTOS EN LOS SERVICIOS Y MANUFACTURA

En esta sección, se analizarán las siguientes características de los sistemas esbeltos: método de tirón del flujo de trabajo, calidad consistente en el origen, lotes de tamaño pequeño, cargas uniformes en la estación de trabajo, componentes y métodos de trabajo estandarizados, vínculos estrechos con los proveedores, mano de obra flexible, flujos en línea, automatización, prácticas del método Cinco S (5S) y mantenimiento preventivo.

MÉTODO DE TIRÓN DEL FLUJO DE TRABAJO

En los sistemas esbeltos se utiliza el método de tirón del flujo de trabajo. Sin embargo, también el método de empuje del flujo de trabajo es muy popular. Para distinguir entre los dos métodos, echaremos mano de un ejemplo de servicio que se relaciona con uno de los pasatiempos favoritos de todos: comer. Considérese una cafetería situada en una esquina muy concurrida del centro. Durante los periodos de más movimiento, entre el mediodía y las cinco de la tarde, se forman filas de clientes hambrientos, impacientes por comer algo y continuar después con otras actividades. La cafetería ofrece opciones de pollo (asado o frito), rosbif, chuletas de cerdo, hamburguesas, *hot dogs*, ensalada, sopa (pollo, chícharo y almeja), pan (tres tipos), bebidas y postres (pasteles, helado y galletas). Se requiere una estrecha coordinación entre el "mostrador" de la cafetería, donde los empleados entran en contacto con los clientes; y la "trastienda", es decir, la cocina, donde se preparan los alimentos, que luego se colocan en la mesa del bufé de la cafetería. Debido a que se necesita mucho tiempo para cocinar algunos de los platos, la cafetería usa un **método de empuje,** que consiste en preparar los alimentos que se sirven a los clientes antes de que éstos los ordenen. Los alimentos preparados en la cafetería son, en realidad, un "inventario de comida", y el método de empuje está destinado a garantizar que siempre haya un inventario suficiente disponible. Después de todo, la escasez de alimentos podría causar condiciones de descontrol (recuérdese que los clientes están hambrientos), mientras que una cantidad excesiva de comida provocaría desperdicio, porque mucha se quedaría. Para asegurar que ninguna de estas condiciones se presente, la cafetería debe prever con precisión el número de clientes que espera atender.

método de empuje

Método en el que la producción del artículo se adelanta a las necesidades del cliente.

Ahora se considerará el caso de un restaurante de cinco estrellas en el que el comensal se sienta a la mesa y se le ofrece un menú de platos exquisitos, entradas, sopas, ensaladas y postres. Se puede elegir entre filete miñón, filete *Porterhouse,* atún de aleta amarilla, mero y chuletas de cordero. Hay varias opciones de ensaladas que se preparan en la mesa del cliente. Aunque algunas entradas, sopas y postres se pueden preparar con antelación y calentarse antes de servirlos, esto no es posible con los platos principales y las ensaladas. Cuando el cliente ordena la ensalada y el plato fuerte, esto constituye una señal para que el chef comience a preparar los alimentos específicos que se pidieron. En el caso de estos elementos del menú, el restaurante usa el **método de tirón.** Cuando se usa el método de tirón, la demanda del cliente activa la producción del bien o servicio. Las empresas que usan el método de tirón tienen que satisfacer las demandas de los clientes dentro de un plazo aceptable. La cafetería tendría dificultades si usara el método de tirón, porque no podría esperar a que casi se agotara un artículo para pedir a la cocina que empezara a procesar otro lote.

método de tirón

Método en el que la demanda del cliente activa la producción del servicio o artículo.

La elección entre el método de empuje y el de tirón depende a menudo de la situación. Las empresas que tienen procesos muy repetitivos y flujos de trabajo bien definidos de artículos estandarizados suelen utilizar el método de tirón porque éste permite llevar un control más estricto de los inventarios y la producción de las estaciones de trabajo. El restaurante de cinco estrellas usa el método de tirón para controlar los costos del inventario (y la frescura y sabor de la comida). Las empresas con



Los comensales llenan sus platos en el bufé de un restaurante. Debido a que los alimentos deben prepararse con anticipación, el restaurante utiliza un método de empuje del flujo de trabajo.

procesos que tienen tiempos de entrega largos y pronósticos razonablemente precisos de la demanda, una variedad de productos que requieren procesos comunes y clientes que no están dispuestos a esperar mucho tiempo a recibir el producto, tienden a producir usando el método de empuje. Estos factores están presentes a menudo en la cafetería y en muchas empresas manufactureras. En ocasiones, las empresas que siguen una estrategia de ensamblaje por pedido usan los dos métodos: el de empuje para producir los componentes estandarizados y el de tirón para satisfacer la solicitud de un cliente respecto a una combinación específica de componentes.

CALIDAD EN EL ORIGEN

Satisfacer sistemáticamente las expectativas del cliente es una característica importante de los sistemas esbeltos. Una manera de alcanzar esta meta consiste en seguir una práctica llamada *calidad en el origen,* que es un esfuerzo de toda la organización por mejorar la calidad de los productos de la empresa, gracias a que los empleados actúan como sus propios inspectores de calidad. La meta es que los trabajadores nunca pasen unidades defectuosas al siguiente proceso. Por ejemplo, en una operación de soldadura realizada en el departamento de antenas de Texas Instruments se registraba una tasa de defectos que fluctuaba entre cero y 50% diariamente, con un promedio de casi 20%. Como compensación, los planificadores de producción aumentaron el tamaño de los lotes, pero con eso sólo se incrementaron los niveles de inventario y no se obtuvo reducción alguna en el número de elementos defectuosos. Mediante la experimentación, los ingenieros de la compañía descubrieron que la temperatura del gas era una variable crítica para producir elementos libres de defectos. Posteriormente, elaboraron gráficos de control estadístico para que los utilizaran los operadores del equipo de la empresa y, de esa manera, pudieran vigilar y ajustar por sí mismos la temperatura del gas. Los rendimientos del proceso mejoraron de inmediato y se estabilizaron en 95%, lo cual permitió que Texas Instruments implementara a la larga un sistema esbelto.

poka yoke
Métodos de comprobación de errores dirigidos al diseño de sistemas a prueba de fallos que minimizan los errores humanos.

Una forma de implementar la calidad en el origen es usar la técnica **poka yoke,** o métodos de comprobación de errores dirigidos al diseño de sistemas a prueba de fallos que atacan y minimizan los errores humanos. Considérese, por ejemplo, una compañía que fabrica productos modulares. Para usar el método poka yoke, la empresa podría fabricar las diferentes partes del producto modular de tal modo que sólo pudieran armarse de una sola manera: la manera correcta. Asimismo, las cajas de embalaje de una compañía podrían diseñarse para empacar el producto sólo de cierta forma a fin de minimizar los daños y eliminar todas las probabilidades de error. Los sistemas poka yoke funcionan bien en la práctica. Otro método para implementar la calidad en el origen en una práctica que los japoneses llaman *jidoka,* y *andon,* que confiere a las máquinas y a los operarios de las máquinas la capacidad de detectar la ocurrencia de cualquier condición anormal. Los empleados están autorizados para pedir ayuda o detener la línea de producción en caso necesario. Sin embargo, detener una línea de producción puede costar miles de dólares a la compañía por cada minuto que se interrumpa la producción. Está de más decir que la gerencia debe comprender la enorme responsabilidad que este método implica para los trabajadores y prepararlos como es debido.

LOTES DE TAMAÑO PEQUEÑO

lote
Cantidad de elementos que se procesan juntos.

En los sistemas esbeltos se usan lotes del tamaño más pequeño posible. Un **lote** es una cantidad de elementos que se procesan juntos. Los lotes pequeños tienen la ventaja de reducir el nivel promedio del inventario en relación con los lotes grandes. Los lotes pequeños pasan por todo el sistema con mayor rapidez que los grandes. Además, si se descubre algún elemento defectuoso, los lotes grandes pueden causar retrasos mayores porque el lote entero debe examinarse para encontrar todos los elementos que necesitan volver a elaborarse. Por último, los lotes pequeños ayudan a mantener una carga de trabajo uniforme en el sistema. Los lotes grandes consumen una gran proporción de la capacidad de las estaciones de trabajo y, por lo tanto, complican la programación. Los lotes pequeños pueden intercambiarse con mayor eficacia, lo que permite a los programadores utilizar más eficientemente la capacidad disponible.

preparación
El grupo de actividades necesarias para cambiar o reajustar un proceso entre lotes sucesivos de elementos.

Aun cuando los lotes pequeños son convenientes para las operaciones, tienen la desventaja de que incrementan la frecuencia de los reajustes de preparación. Por **preparación** se entiende el grupo de actividades necesarias para cambiar o reajustar un proceso entre lotes sucesivos de elementos, lo cual se conoce en ocasiones como *permutación.* Típicamente, una operación de preparación tarda el mismo tiempo, independientemente del tamaño del lote. En consecuencia, muchos lotes pequeños, en lugar de varios lotes grandes, pueden producir desperdicio en la forma de empleados y equipo ociosos. Los tiempos de preparación deben ser breves para aprovechar los beneficios de la producción en lotes pequeños.

Para lograr tiempos de preparación cortos, a menudo se requiere una estrecha colaboración entre la función de ingeniería, la gerencia y la mano de obra. Por ejemplo, la operación de cambiar un

troquel en una prensa grande para fabricar partes de un automóvil a partir de lámina de metal puede requerir entre 3 y 4 horas de trabajo. En la planta de Honda en Marysville, Ohio, donde cuatro líneas troquelan todos los paneles exteriores y los principales paneles interiores de la carrocería como parte de la producción del automóvil Accord, los equipos trabajaron para idear la forma de reducir el tiempo que requería la operación de cambiar de uno a otro de esos enormes troqueles. Finalmente, el resultado de sus esfuerzos fue que un cambio completo de los troqueles de una prensa gigantesca de 2400 toneladas se realiza ahora en menos de 8 minutos. El objetivo de alcanzar un **tiempo de preparación de un solo dígito** significa conseguir que dicho tiempo sea menor a 10 minutos. Algunas técnicas empleadas para reducir los tiempos de preparación en la planta de Marysville requieren el uso de bandas transportadoras para el almacenamiento de troqueles, la movilización de los troqueles grandes por medio de grúas, la simplificación de dichos troqueles, la aplicación de controles en las máquinas, el uso de microcomputadoras para introducir y posicionar automáticamente el trabajo, y la preparación de los cambios requeridos para el siguiente trabajo mientras el anterior aún se está procesando.

tiempo de preparación de un solo dígito

La meta es alcanzar tiempos de preparación de menos de 10 minutos.

CARGAS DE TRABAJO UNIFORMES

Los sistemas esbeltos funcionan mejor cuando las cargas diarias de cada una de las estaciones de trabajo son relativamente uniformes. Para lograr cargas uniformes de las estaciones de trabajo en los procesos de servicio, se usan los sistemas de reservaciones. Por ejemplo, en los hospitales se programan las cirugías antes de que se preste el servicio propiamente dicho, de modo que las instalaciones y los productos auxiliares estén listos cuando llegue el momento. La carga de las salas de operaciones y los cirujanos se puede nivelar para hacer el mejor uso de estos recursos. Otro enfoque consiste en usar precios diferenciales del servicio para administrar la demanda. Las cargas uniformes son la razón por la que las líneas aéreas promueven los viajes durante los fines de semana o los vuelos nocturnos que comienzan a altas horas de la noche y terminan muy temprano por la mañana. Es posible realizar eficiencias cuando se puede administrar la carga de los recursos de la empresa.

En el caso de los procesos de manufactura, es posible lograr que las cargas sean uniformes si se ensambla el mismo tipo y número de unidades todos los días, con lo cual se crea una demanda diaria uniforme en todas las estaciones de trabajo. La planificación de la capacidad, en la que se reconocen las restricciones de capacidad en las estaciones de trabajo críticas, y el balanceo de línea son dos métodos que se emplean para crear el programa maestro de producción mensual. En Toyota, por ejemplo, el plan de producción podría requerir 4,500 vehículos por semana para el próximo mes. Para eso se necesitan dos turnos completos, cinco días por semana, que produzcan 900 vehículos cada día, es decir, 450 por turno. Se producen tres modelos: Camry (C), Avalon (A) y Sienna (S). Supongamos que Toyota necesita 200 Camry, 150 Avalon y 100 Sienna por turno para satisfacer la demanda del mercado. Para producir esas 450 unidades en un turno de 480 minutos, la línea tendrá que producir un vehículo cada 480/450 = 1.067 minutos.

Aquí nos interesa mencionar tres opciones mediante las cuales se puede diseñar un programa maestro de producción de los vehículos. La primera es que, con la producción en lotes grandes, todos los requisitos diarios de cada modelo se producen en una sola partida antes de iniciar la producción de otro modelo. La secuencia de 200 C, 150 A y 100 S tendría que repetirse una vez en cada turno. Estos grandes lotes no sólo aumentarían el nivel del inventario del ciclo promedio, sino que también provocarían un efecto de aglomeración en los requisitos de todas las estaciones de trabajo que alimentan la línea de ensamblaje.

En la segunda opción se utiliza el **ensamblaje de modelos mixtos**, según el cual se produce una combinación de modelos en lotes más pequeños. Observe que los requisitos de producción se han establecido de acuerdo con la razón de 4 C a 3 A a 2 S, que se obtiene dividiendo los requisitos de producción del modelo entre el máximo común divisor, es decir, 50. Así, el planificador de Toyota podría planear un ciclo de producción formado por 9 unidades: 4 C, 3 A y 2 S. El ciclo se repetiría al cabo de 9(1.067) = 9.60 minutos, para obtener un total de 50 veces por turno (480 min/9.60 min = 50).

ensamblaje de modelos mixtos

Tipo de ensamblaje que produce una combinación de modelos en lotes pequeños.

Una secuencia de C-S-C-A-C-A-C-S-A, repetida 50 veces por turno, permitiría lograr la misma producción total que con las otras opciones. Esta tercera alternativa sólo es factible cuando los tiempos de preparación son muy cortos. La secuencia genera una tasa constante de requisitos de componentes para los diversos modelos y permite el uso de lotes de tamaño pequeño en las estaciones de trabajo que alimentan a la línea de ensamblaje. Por consiguiente, los requerimientos de capacidad se vuelven mucho más uniformes en esas estaciones. Estos requerimientos pueden compararse con las capacidades reales durante la fase de planificación y, en caso necesario, es posible modificar el ciclo de producción, los requisitos de producción o las capacidades correspondientes.

COMPONENTES Y MÉTODOS DE TRABAJO ESTANDARIZADOS

En operaciones de servicio altamente repetitivas, se pueden ganar grandes eficiencias si se analizan los métodos de trabajo y se documentan las mejoras para que todos los empleados los sigan. Por ejemplo, UPS monitorea sistemáticamente sus métodos de trabajo y los revisa siempre que es necesario para mejorar el servicio. En la manufactura, la estandarización de componentes, tam-

bién conocida como uso de *partes en común* o *modularidad*, favorece la repetibilidad. Por ejemplo, una empresa que produce 10 productos a partir de 1000 componentes diferentes podría rediseñar dichos productos de manera que estuvieran constituidos por sólo 100 componentes diferentes, aunque con mayores requisitos diarios. Puesto que ahora los requisitos por componente se incrementan, lo mismo sucederá con la repetibilidad; es decir, cada trabajador tendrá que realizar todos los días y con mayor frecuencia que antes una tarea o un método de trabajo estandarizado. La productividad tiende a aumentar porque, en virtud del mayor número de repeticiones, los trabajadores aprenden a realizar sus tareas con más eficiencia. La estandarización de los componentes y los métodos de trabajo ayuda a la empresa a alcanzar los objetivos de alta productividad e inventarios bajos de un sistema esbelto.

VÍNCULOS ESTRECHOS CON LOS PROVEEDORES

Debido a que los sistemas esbeltos operan con niveles bajos de inventario o poca holgura de capacidad, las empresas que los implementan necesitan mantener relaciones estrechas con los proveedores. Los embarques de artículos deben ser frecuentes, con tiempos de entrega cortos, puntualidad en la entrega y alta calidad. Un contrato puede requerir que el proveedor entregue los bienes en la fábrica hasta varias veces al día. Los gerentes de compras tienen tres maneras de fortalecer los vínculos de la compañía con sus proveedores: reducir el número de proveedores, usar proveedores locales y mejorar sus relaciones con ellos.

Típicamente, una de las primeras medidas que se toman cuando se implementa un sistema esbelto consiste en reducir el número de proveedores. Xerox, por ejemplo, redujo el número de sus proveedores de 5000 a sólo 300. Este enfoque ejerce mucha presión sobre los proveedores, pues los obliga a entregar puntualmente componentes de alta calidad. En compensación, los usuarios de sistemas esbeltos amplían sus contratos con esos proveedores y les proporcionan información fidedigna sobre sus pedidos futuros, con la debida anticipación. Además, permiten que sus proveedores participen en las fases iniciales del diseño de los productos, para no tener problemas cuando la producción comience. Además, trabajan con los vendedores de sus proveedores para tratar de establecer flujos de inventarios sincronizados en toda la cadena de suministro.

Los fabricantes que usan sistemas esbeltos suelen recurrir a proveedores locales. Por ejemplo, cuando GM decidió construir su complejo de instalaciones Saturn en Tennessee, muchos proveedores se establecieron en las cercanías. Harley-Davidson redujo el número de sus proveedores y dio preferencia a los que tenían instalaciones más cerca de sus plantas; por ejemplo, tres cuartas partes de los proveedores de la planta de motores de Milwaukee están situados dentro de un radio de 280 kilómetros. La proximidad geográfica significa que la compañía puede reducir la necesidad de adquirir inventarios de seguridad. Las empresas que no cuentan con proveedores en sus cercanías tienen que depender de un sistema de entrega de proveedores cuidadosamente ajustado. Por ejemplo, New United Motor Manufacturmg, Incorporared (NUMMI), la empresa conjunta de GM y Toyota establecida en California, cuenta con proveedores en Indiana, Ohio y Michigan. Por medio de un sistema muy bien coordinado, en el cual intervienen ferrocarriles y camiones de remolque para el transporte de vehículos, los proveedores logran entregar diariamente el número preciso de partes necesarias para la producción de un día.

Los usuarios de sistemas esbeltos también saben que es esencial adoptar una actitud de cooperación con los proveedores. La filosofía de los sistemas esbeltos es buscar la forma de mejorar la eficiencia y reducir los inventarios a lo largo de toda la cadena de suministro. La estrecha colaboración entre las compañías y sus proveedores es una situación en la que todos ganan. Por ejemplo, una mejor comunicación acerca de las necesidades de componentes permite alcanzar una mayor eficiencia en la planificación del inventario y en la programación de la entrega de mercancías por los proveedores, con lo cual éstos incrementan sus márgenes de utilidad. A su vez, los clientes tienen la posibilidad de negociar precios más bajos de los componentes. No es posible establecer y mantener relaciones estrechas con los proveedores si las compañías los consideran como adversarios cada vez que negocian un contrato. En cambio, deberían entender que los proveedores son sus socios en un negocio y que, en virtud de éste, a ambas partes les conviene mantener una relación lucrativa a largo plazo.

MANO DE OBRA FLEXIBLE

Los trabajadores en sistemas de mano de obra flexible reciben capacitación para desempeñar varias funciones. Una de las ventajas de la flexibilidad es la capacidad de transferir trabajadores de una estación de trabajo a otra para ayudar a aliviar los cuellos de botella en cuanto éstos se presentan, sin necesidad de recurrir a "colchones" de inventario (éste es un aspecto importante del flujo uniforme de sistemas esbeltos). Además, pueden realizar el trabajo de sus compañeros que están enfermos o de vacaciones. Aunque asignar trabajadores a tareas que no realizan habitualmente disminuye temporalmente la eficiencia, cierto grado de rotación en los puestos tiende a aliviar el aburrimiento y reanima a los trabajadores.

Cuanto más personalizado sea el servicio o producto, tanto mayor será la necesidad de la empresa de contar con trabajadores calificados que dominan varias habilidades. Por ejemplo, los talleres de reparación de aparatos estereofónicos necesitan personal ampliamente capacitado que

pueda identificar una gran variedad de problemas de los componentes cuando el cliente lleva la unidad defectuosa al taller y que sea capaz de reparar la unidad. También, los diseños de trastienda, como las operaciones de procesamiento de la correspondencia en una oficina de correos grande, tienen empleados con puestos definidos de manera más limitada a causa del carácter repetitivo de las tareas que deben realizar. Estos empleados no tienen que adquirir muchas habilidades alternativas. En situaciones como la del departamento de antenas de Texas Instruments, para transferir trabajadores a otros puestos se necesita capacitación intensiva y costosa.

FLUJOS EN LÍNEA

Los gerentes de los procesos de servicio de oficina híbrida y trastienda pueden organizar a sus empleados y equipo para establecer flujos de trabajo uniformes a lo largo de todo el proceso y, con ello, eliminar los tiempos ociosos de los empleados. Los bancos usan esta estrategia en sus operaciones de procesamiento de cheques, lo mismo que UPS en su proceso de clasificación de paquetes. Con los flujos en línea es posible reducir la frecuencia de las operaciones de preparación. Cuando los volúmenes de determinados productos son suficientemente grandes, diversos grupos de máquinas y trabajadores pueden organizarse de acuerdo con una distribución de flujo en línea, a fin de suprimir por completo las operaciones de preparación. Si el volumen no es suficiente para mantener activa una línea de producción de productos similares, se puede aplicar la *tecnología de grupo* para diseñar líneas pequeñas de producción que fabriquen, en volumen, varias familias de componentes que tengan atributos en común. De esta manera, serán mínimos los cambios necesarios para pasar de un componente de una familia de productos al siguiente componente de la misma familia.

Otra táctica que se usa para reducir o eliminar las operaciones de preparación es el enfoque de un trabajador, múltiples máquinas (OWMM), que es, en esencia, una línea de una sola persona. Un trabajador opera varias máquinas, cada una de las cuales realiza un paso del proceso a la vez. Puesto que el mismo producto se fabrica en forma repetida, las operaciones de preparación se eliminan.

AUTOMATIZACIÓN

La automatización desempeña un papel importante en los sistemas esbeltos y es la clave de las operaciones de bajo costo. El dinero que queda disponible a causa de las reducciones del inventario u otras eficiencias se puede invertir en automatización para abatir los costos. Por supuesto, los beneficios son más utilidades, mayor participación de mercado (porque la empresa reduce sus precios) o ambas cosas. La automatización puede desempeñar una función decisiva cuando se trata de proporcionar servicios esbeltos. Por ejemplo, los bancos ofrecen cajeros automáticos que proporcionan varios servicios bancarios las 24 horas del día. Sin embargo, la automatización debe planearse con mucho cuidado. Muchos gerentes creen que si un poco de automatización es bueno, una cantidad mayor será mejor. No obstante, no siempre ocurre así. Cuando GM inauguró Buick City, por ejemplo, instaló 250 robots, algunos de ellos provistos de sistemas de visión para montar parabrisas. Desafortunadamente, los robots no lograban “ver” los vehículos negros y siempre los pasaban por alto. A fin de cuentas, el problema se resolvió con un nuevo software. No obstante, la dirección de GM descubrió que los seres humanos eran capaces de hacer algunos trabajos mejor que los robots y reemplazó a 30 de ellos por seres humanos.

CINCO S

Cinco S (5S) es una metodología para organizar, limpiar, desarrollar y sostener un entorno de trabajo productivo. Representa cinco términos relacionados, que en inglés y japonés empiezan con *S*. Estos términos describen prácticas en el lugar de trabajo que propician los controles visuales y la producción esbelta. Estas cinco prácticas de separar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener

cinco S (5S)
Metodología que consiste en cinco prácticas en el lugar de trabajo (separar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener) que propician los controles visuales y la producción esbelta.

TABLA 9.1 Definición de las 5S

Término 5S	Definición
1. Separar	Separar los elementos necesarios de los que no lo son (incluidas las herramientas, partes, materiales y papelero) y descartar los innecesarios.
2. Ordenar	Organizar cuidadosamente lo que quede, con un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. Organizar el área de trabajo de modo que sea fácil encontrar lo que se necesita.
3. Limpiar	Limpiar y lavar el área de trabajo para que siempre estén relucientes.
4. Estandarizar	Establecer programas y métodos para realizar las labores de limpieza y clasificación. Formalizar la limpieza que resulta de realizar con regularidad las primeras tres prácticas S a fin de mantener un estado permanente de limpieza y preparación.
5. Sostener	Crear la disciplina para realizar las primeras cuatro prácticas S, a fin de que todos entiendan, acaten y practiquen las reglas cuando se encuentren en la planta. Implementar mecanismos para sostener las ganancias mediante la participación de los empleados y brindándoles reconocimiento mediante un sistema de medición del desempeño.



Empleados de United Parcel Service trabajan en una pequeña línea automatizada de paquetes para carga aérea en el centro de distribución de Louisville, Kentucky, que costó 1000 millones de dólares. Los paquetes (en el centro de la fotografía) se depositan automáticamente en el cubo dedicado a su destino.

se aplican sistemáticamente para lograr sistemas esbeltos. No son algo que se pueda hacer como un programa autónomo. Como tales, representan el fundamento esencial de los sistemas esbeltos. La tabla 9.1 muestra los términos[1] que representan las 5S y lo que implican.

Comúnmente se acepta que el método de las 5S constituye una base importante para reducir el desperdicio y eliminar tareas, actividades y materiales innecesarios. La implementación de las prácticas 5S puede abatir los costos, mejorar las entregas puntuales y aumentar la productividad y la calidad de los productos, además de promover un entorno de trabajo seguro.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Por el hecho de que los sistemas esbeltos hacen hincapié en los flujos de trabajo cuidadosamente ajustados, poca holgura de la capacidad y escasa presencia de inventarios de “colchón” entre las estaciones de trabajo, cualquier tiempo ocioso de las máquinas que no haya sido planeado suele ocasionar trastornos. Con mantenimiento preventivo es posible reducir la frecuencia y duración del tiempo ocioso de las máquinas. Después de haber realizado las actividades habituales de mantenimiento, el técnico puede efectuar pruebas en otras partes de la maquinaria que podría ser necesario sustituir. La sustitución de las partes durante los periodos de mantenimiento regularmente programados es más sencilla y rápida que tratar de reparar las averías en una máquina durante los periodos de producción. El mantenimiento se realiza de acuerdo con un programa que establece un punto de equilibrio entre el costo del programa de mantenimiento preventivo y los riesgos y costos que implicaría la descompostura de una máquina. El mantenimiento preventivo de rutina es importante para las empresas de servicios que dependen en gran medida de la maquinaria. Por ejemplo, los juegos de Walt Disney World necesitan mantenimiento preventivo de rutina para evitar que se descompongan y que los clientes puedan resultar lastimados.



El Castillo de Cenicienta en Disney World, en Florida. El mantenimiento preventivo garantiza el servicio confiable a los clientes.

Otra táctica consiste en hacer que los trabajadores sean responsables del mantenimiento habitual de sus respectivos equipos e inculcar en ellos el orgullo de tener siempre sus máquinas en óptimas condiciones. Sin embargo, esta táctica suele limitarse a las tareas de limpieza en general, lubricación superficial y ajustes menores. Para el debido mantenimiento de máquinas de alta tecnología se requieren especialistas capacitados. Sin embargo, la correcta realización de las operaciones de mantenimiento, aunque sean muy sencillas, permite avanzar considerablemente hacia la meta de mejorar el rendimiento de las máquinas.

La práctica administrativa 9.1 muestra cómo se han usado los principios de los sistemas esbeltos en New Balance Athletic Shoe Company para crear un tipo diferente de empresa manufacturera en la industria del calzado.

> MEJORAMIENTO CONTINUO CON SISTEMAS ESBELTOS <

Mediante la identificación de las áreas en las que es necesario introducir mejoras, los sistemas esbeltos conducen al mejoramiento continuo de la calidad y la productividad. En japonés este método de mejoramiento de los procesos se llama *kaizen.* La clave de *kaizen* radica en entender que el exceso de capacidad o inventario oculta problemas subyacentes de los procesos que producen un servicio o producto. Los sistemas esbeltos proporcionan a la gerencia el mecanismo para descubrir los problemas, reduciendo sistemáticamente la capacidad o el inventario hasta que los problemas quedan al descubierto. Por ejemplo, la figura 9.1 representa la filosofía en la que se basa el mejoramiento continuo por medio de sistemas esbeltos. En los servicios, la superficie del agua representa la capacidad del sistema de servicio; por ejemplo, los niveles de personal. En la manufactura, la superficie del agua representa los niveles de inventario de productos y componentes. Las rocas representan los problemas que surgen en la entrega del producto o servicio. Cuando la superficie del

[1]Las palabras japonesas que corresponden a estos términos 5S son: *seiri, seiton, seiso, seiketsu* y *shitsuke,* respectivamente.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 9.1 SISTEMAS ESBELTOS EN NEW BALANCE ATHLETIC SHOE COMPANY

New Balance (NB), con sede en Boston, fabrica y vende una línea completa de calzado y ropa de alto desempeño para caballeros, damas y niños en 120 países, y sus ventas globales ascendieron a 1,300 millones de dólares en 2003. Jim Davis, Presidente y Director General, compró New Balance, empresa fundada en 1906 para fabricar soportes de arco, el día en que se celebró la Maratón de Boston en 1972. NB sigue siendo la única empresa fabricante de calzado deportivo que ofrece varios anchos en toda su línea de zapatos y también es la única compañía en esa industria que conserva aproximadamente 25% de su producción global en Estados Unidos. A pesar de tener una línea de productos tan amplia y de las diferencias en los costos de mano de obra entre Estados Unidos y China, ¿cómo es que New Balance conserva su rentabilidad y crecimiento? New Balance observa los principios de manufactura esbelta y envía sus productos directamente a los comerciantes minoristas y clientes sin la intervención de intermediarios que pueden aplicar descuentos en sus productos.

La planta más grande y antigua de NB en Estados Unidos se encuentra en Lawrence, Massachusetts. El grupo de investigación y desarrollo de la compañía también está ubicado ahí, de modo que las operaciones de diseño y manufactura de la empresa están completamente integradas. La planta de Lawrence fabrica todos los estilos exclusivos para el mercado de América del Norte. La mayoría de los nuevos diseños se fabrican primero en Lawrence y después se transfieren a otras plantas norteamericanas de NB, que siguen los mismos métodos de producción. En los últimos años, NB abandonó el método de lotes y colas, que es tradicional en la industria del calzado, y adoptó un método de producción por lotes pequeños, con flujo celular. Algunos pasos del proceso de producción siguen siendo manuales, aunque NB automatiza los procesos dondequiera que es posible.

La producción de calzado comienza en el cuarto de corte, donde 60 componentes de la parte superior de cada par de zapatos se cortan de un material plano. Más adelante, los zapatos se ensamblan en lotes de 12 unidades del mismo estilo y talla. Hasta hace poco, alrededor de 50% de la producción diaria de zapatos tenía que producirse en el cuarto de corte para poder trasladar un lote a la siguiente operación del proceso. Sin embargo, después de que se implementó el sistema esbelto, el tamaño de los lotes se redujo drásticamente. En seguida, los componentes que forman la parte superior del calzado se unen en la primera etapa de costura automatizada y las partes que no pueden automatizarse se procesan en una célula de costura manual. A continuación, la parte superior del zapato, casi completa, se estira en una horma (la "última" de un zapatero), que por lo general determina el ancho del zapato. Aquí es muy importante poner cuidado para que el ajuste del zapato sea preciso. Los operadores capacitados en diferentes tareas nunca dejan pasar una unidad defectuosa, y siempre verifican el trabajo del operador anterior, así como el propio. Por último, la parte superior del zapato se une a las suelas usando un adhesivo, que se cura con rapidez por medio de calor.



Una trabajadora despacha un grupo de zapatos deportivos, parcialmente ensamblados, de su estación de costura en la fábrica de New Balance situada en Skowhegan, Maine. Ella y otros cinco miembros de su equipo han trazado un plan para que cada persona reciba capacitación en las habilidades de otra. Estas y otras ideas parecidas para mejorar el nivel de competencia, que se analizan durante las reuniones bisemanales que se celebran entre trabajadores y supervisores, han producido un mejor desempeño en New Balance.

Cuando tiene que decidir cuántos zapatos de cada estilo se programarán, NB piensa en "órdenes de venta" y no en "órdenes de producción". En lugar de usar el método de empuje para llevar los zapatos al mercado, NB usa más bien una estrategia de tirón. En otras palabras, sus programas de producción se basan en la demanda del mercado. NB usó los conceptos y técnicas de los sistemas esbeltos para reducir el tamaño de los lotes en un factor de 8, y los tiempos del ciclo de manufactura en un factor de 4. Aun cuando estos niveles de reducción varían en cierta medida porque la compañía fabrica muchos productos diferentes, el flujo de trabajo de NB sigue siendo uniforme. Además de fomentar el trabajo en equipo y la cultura del mejoramiento continuo, el sistema de manufactura esbelta de NB ha permitido crecer a la compañía, del pequeño productor de calzado especializado que era en 1972 a la compañía global que es en la actualidad. Junto con Reebok, ocupa el segundo lugar en la industria del calzado deportivo, después del líder Nike.

Fuente: Robert W. Hall, "New Balance Athletic Shoe Company", *Target,* volumen 20, número 5, 2004, pp. 5–10. Se reproduce o condensa de Target con autorización de la Association for Manufacturing Excellence (AME), www.ame.org.

agua es suficientemente alta, el barco pasa sobre las rocas porque el alto nivel de capacidad o inventario cubre todos los problemas. Cuando la capacidad o el inventario disminuyen, las rocas quedan expuestas. A la postre, el barco golpeará alguna roca si la superficie del agua baja demasiado. Por medio de los sistemas esbeltos, los trabajadores, supervisores, ingenieros y analistas aplican métodos de mejoramiento continuo con el fin de destruir las rocas expuestas. La coordinación necesaria para el sistema de tirón de los flujos de materiales en los sistemas esbeltos permite identificar los problemas oportunamente para emprender las medidas correctivas que correspondan.

El meollo del mejoramiento continuo consiste en mantener inventarios bajos, someter con regularidad el sistema a ciertas tensiones para identificar posibles problemas y enfocar la atención en los elementos del sistema esbelto. Por ejemplo, la planta de Kawasaki en Nebraska reduce periódicamente sus inventarios de seguridad casi hasta cero. De ese modo, los problemas de la planta afloran, se registran y, más tarde, se asignan a los empleados como proyectos de mejoramiento.

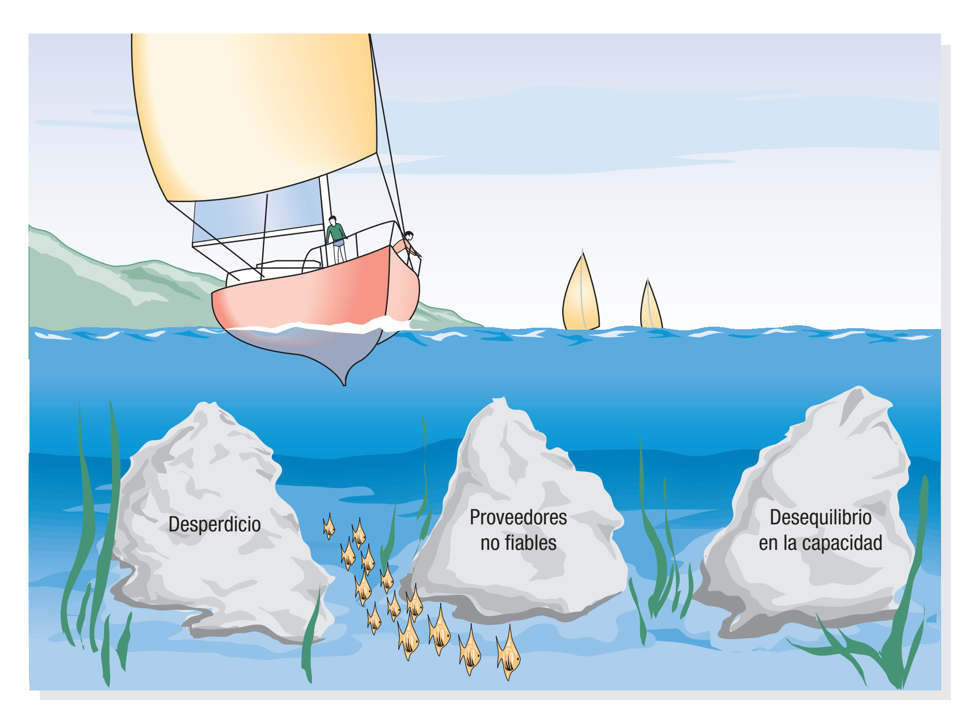


FIGURA 9.1
Mejoramiento continuo con los sistemas esbeltos

Una vez que esas mejoras se han alcanzado, los inventarios se reducen permanentemente a ese nuevo nivel. Muchas empresas usan este proceso de ensayo y error para desarrollar operaciones manufactureras más eficientes. Los procesos de servicios, entre los cuales figuran tareas de programación, facturación, levantamiento de pedidos, contabilidad y planificación financiera, también pueden mejorar con la aplicación de sistemas esbeltos. En operaciones de servicios, un procedimiento que los gerentes usan comúnmente para someter a tensiones el sistema consiste en reducir el número de empleados que realizan una actividad o serie de actividades en particular hasta el punto en que el proceso se vuelve más lento o se detiene. Esto permite identificar los problemas y explorar la manera de resolverlos. También se pueden utilizar otras tácticas *kaizen.* Para eliminar el problema que produce una cantidad excesiva de desperdicio, tal vez sea necesario mejorar los procesos de la empresa, impartir capacitación adicional a los empleados o buscar proveedores de más alta calidad. Para eliminar los desequilibrios de capacidad, quizá se necesite revisar el programa maestro de producción de la empresa y aumentar la flexibilidad de la mano de obra.

EL SISTEMA KANBAN

kanban
Vocablo japonés que significa "tarjeta" o "registro visible"; se refiere a las tarjetas que se utilizan para controlar el flujo de producción en la fábrica.

Uno de los aspectos de los sistemas esbeltos, y el TPS en particular, que ha recibido mayor divulgación es el sistema *kanban* desarrollado por Toyota. La expresión ***kanban***, que en japonés significa "tarjeta" o "registro visible", se refiere a las tarjetas que se utilizan para controlar el flujo de la producción en la fábrica. En el sistema *kanban* más elemental, se coloca una tarjeta en cada contenedor de artículos producidos. El contenedor almacena un porcentaje determinado de las necesidades diarias de producción de ese artículo. Cuando el usuario de esas partes vacía el contenedor, la tarjeta se retira del mismo y se coloca en un depósito de recepción. El contenedor vacío es llevado al área de almacenamiento, y la presencia de la tarjeta en el depósito indica que es necesario producir más de esas partes para llenar otro contenedor. Una vez que éste se vuelve a llenar, la tarjeta se coloca de nuevo en el contenedor, el cual se devuelve a un área de almacenamiento. El ciclo vuelve a empezar cuando el usuario de las partes recoge el contenedor con la tarjeta adjunta.

La figura 9.2 ilustra el funcionamiento de un sistema *kanban* con una sola tarjeta, cuando una célula de fabricación alimenta dos líneas de ensamblaje. Cuando la línea de ensamblaje necesita más partes, la tarjeta *kanban* correspondiente a éstas se lleva al depósito de recepción y un contenedor lleno de dichas partes se extrae del área de almacenamiento. En el depósito de recepción se acumulan las tarjetas para las líneas de ensamblaje y se establece la secuencia de producción de las partes que habrán de reabastecerse. En este ejemplo, la célula de fabricación producirá el producto 2 (negro) antes que el producto 1 (gris). La célula está formada por tres operaciones diferentes, pero la operación 2 tiene dos estaciones de trabajo. Una vez que la producción se ha puesto en marcha en dicha célula, el producto comienza en la operación 1, pero podría proseguir su ruta hacia cualquiera de las estaciones de trabajo que realizan la operación 2, dependiendo de la carga de trabajo que haya en ese momento. Finalmente, el producto se procesa en la operación 3, antes de ser llevado al área de almacenamiento.

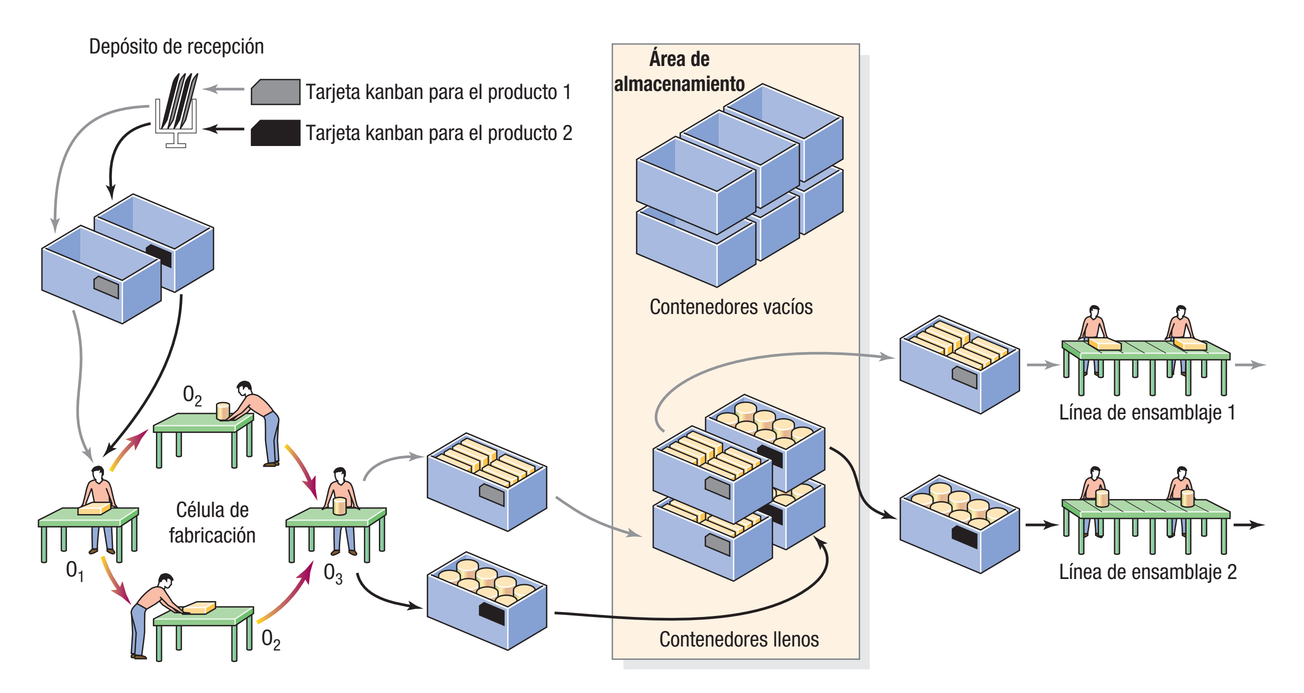


FIGURA 9.2 | Sistema *kanban* con una sola tarjeta

REGLAS GENERALES DE OPERACIÓN

Las reglas de operación para el sistema con una sola tarjeta son sencillas y tienen el propósito de facilitar el flujo de materiales, al tiempo que se mantiene el control de los niveles de inventario.

1. En cada contenedor debe haber una tarjeta.
2. La línea de ensamblaje siempre retira los materiales de la célula de fabricación. Ésta nunca empuja las partes hacia la línea de ensamblaje porque tarde o temprano se suministrarán partes que todavía no se necesitan para la producción.
3. Los contenedores de partes nunca deben sacarse de un área de almacenamiento sin haber colocado primero un *kanban* en el depósito de recepción.
4. Los contenedores siempre deben contener el mismo número de partes en buen estado. El uso de contenedores no estándar o llenados en forma irregular trastorna el flujo de producción de la línea de ensamblaje.
5. Sólo partes sin defectos deben enviarse a la línea de ensamble, para hacer el mejor uso de los materiales y el tiempo de los trabajadores.
6. La producción total no debe rebasar la cantidad total autorizada en los *kanbanes* del sistema.

Toyota emplea un sistema con dos tarjetas, basado en una tarjeta de retiro y una tarjeta de órdenes de producción, a fin de controlar más estrictamente las cantidades retiradas. La tarjeta de retiro especifica el elemento y la cantidad que el usuario del mismo deberá retirar del productor correspondiente, así como los lugares de abastecimiento tanto para el usuario como para el productor. La tarjeta de la orden de producción especifica el artículo y la cantidad que habrá de producirse, los materiales requeridos y dónde localizarlos, además del lugar donde deberá almacenarse el artículo terminado. Los materiales no pueden ser retirados sin una tarjeta de retiro, y producción no debe iniciar sus actividades sin una tarjeta de orden de producción. Las tarjetas se colocan en los contenedores cuando la producción se pone en marcha.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CONTENEDORES

El número de contenedores autorizado en el TPS determina la magnitud del inventario autorizado. La gerencia tendrá que tomar dos decisiones: (1) el número de unidades que deberán colocarse en cada contenedor, y (2) el número de contenedores que irán y vendrán entre la estación del proveedor y la estación del usuario. La primera decisión equivale a determinar el tamaño del lote, lo que requiere balancear el costo de preparación con el costo de mantener el inventario en existencia, entre otras consideraciones.

El número de contenedores que van y vienen entre dos estaciones influye directamente en las cantidades del inventario de trabajo en proceso y el inventario de seguridad. Los contenedores pasan determinado tiempo en producción, en una fila de espera, en un lugar de almacenamiento o en tránsito. La clave para determinar el número necesario de contenedores consiste en estimar

el tiempo promedio de entrega necesario para producir partes suficientes para llenar un contenedor. El tiempo de entrega es función del tiempo de procesamiento por contenedor en la estación del proveedor, el tiempo de espera durante el proceso de producción y el tiempo requerido para el manejo de materiales. El número de contenedores necesario para el trabajo de la estación del usuario es igual a la demanda promedio durante el tiempo de entrega, más cierto inventario de seguridad para compensar cualquier circunstancia inesperada, dividido entre el número de unidades que pueden colocarse en un contenedor. Por lo tanto, el número de contenedores es:

$$\kappa = \frac{\text{Demanda promedio durante el tiempo de entrega} + \text{Inventario de seguridad}}{\text{Número de unidades por contenedor}}$$

$$= \frac{d(\bar{\omega}+\bar{\rho})(1+\alpha)}{c}$$

donde

κ = número de contenedores para una parte
d = demanda diaria esperada para la parte, en unidades
$\bar{\omega}$ = tiempo promedio de espera durante el proceso de producción más el tiempo de manejo de materiales por contenedor, en fracciones de día
$\bar{\rho}$ = tiempo promedio de procesamiento por contenedor, en fracciones de día
c = cantidad en un contenedor estándar de las partes
α = una variable de política que agrega inventario de seguridad para cubrirse en circunstancias inesperadas (Toyota usa un valor de no más de 10%).



TUTOR 9.1

El tutor 9.1 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) presenta otro ejemplo de cómo se usa el modelo para determinar el número de contenedores.

Por supuesto, el número de contenedores debe ser un entero. Si se redondea κ hacia arriba, se tendrá más inventario del deseado, en tanto que si κ se redondea hacia abajo, se tendrá un inventario menor.

La cantidad del contenedor, *c,* y el factor de eficiencia, α, son variables que la gerencia puede usar para controlar el inventario. Si se ajusta *c,* cambia el tamaño de los lotes, y si se ajusta α, cambia la cantidad del inventario de seguridad. El sistema *kanban* permite que la gerencia realice ajustes finos en el flujo de materiales de dicho sistema de manera sencilla. Por ejemplo, cuando se retiran tarjetas del sistema, se reduce el número autorizado de contenedores llenos de una parte determinada, con lo que también se reduce el inventario de dicha parte. Así, uno de los principales beneficios es la simplicidad del sistema, en el que es posible introducir cambios con facilidad en la mezcla de productos o en el volumen con sólo ajustar el número de *kanbanes* en el sistema.

EJEMPLO 9.1 Determinación del número correcto de contenedores

Westerville Auto Parts Company fabrica unidades de brazo de balancín que se utilizan en los sistemas de dirección y suspensión de camiones con tracción en las cuatro ruedas. Un contenedor típico de partes pasa 0.02 día en procesamiento y 0.08 día en manejo de materiales y periodos de espera durante su ciclo de manufactura. La demanda diaria de esa parte es de 2000 unidades. La gerencia considera que la demanda de la unidad de brazo de balancín es lo suficientemente incierta para justificar un inventario de seguridad equivalente al 10% de su inventario autorizado.

a. Si hay 22 partes en cada contenedor, ¿cuántos contenedores deben autorizarse?

b. Suponga que, gracias a una propuesta para revisar la distribución física de la planta, el tiempo de manejo de materiales y de espera se reduciría a 0.06 día por contenedor. ¿Cuántos contenedores se necesitarían?

SOLUCIÓN

a. Si d = 2,000 unidades/día, $\bar{\rho} = 0.02$ día, α = 0.10, $\bar{\omega} = 0.08$ día, y c = 22 unidades,

$$\kappa = \frac{2{,}000(0.08+0.02)(1.10)}{22} = \frac{220}{22} = 10 \text{ contenedores}$$

b. La figura 9.3 de OM Explorer muestra que el número de contenedores se reduce a 8.

Número de contenedores según el solver
Escriba los datos en el área sombreada de amarillo.

Demanda diaria esperada	2000
Cantidad en contenedor estándar	22
Tiempo de espera por contenedor (días)	0.06
Tiempo de procesamiento (días)	0.02
Variable de política	10%
Contenedores requeridos	8

FIGURA 9.3

Solver de OM Explorer para el número de contenedores

Punto de decisión El tiempo promedio de entrega por contenedor es de $\bar{\omega}+\bar{\rho}$. Con un tiempo de entrega de 0.10 día, se necesitan 10 contenedores. Sin embargo, si la distribución mejorada de la instalación reduce el tiempo de manejo de los materiales y el tiempo de espera, $\bar{\omega}$, a 0.06 día, sólo se necesitan 8 contenedores. El inventario máximo autorizado de la unidad de brazo de balancín es de κc unidades. Por tanto, en la parte (a), el inventario máximo autorizado es de 220 unidades, pero en la parte (b) es de sólo 176 unidades. Si se reduce $\bar{\omega}+\bar{\rho}$ en 20%, se reducirá el inventario de la parte en 20%. La gerencia debe balancear el costo de la redistribución (un gasto único) con los beneficios a largo plazo de la reducción del inventario.

La práctica administrativa 9.2 ilustra cómo el University of Pittsburgh Medical Center, en Shadyside, aplicó los principios de los sistemas *kanban,* la metodología 5S, las distribuciones en células y los procesos de flujo continuo para mejorar considerablemente el desempeño de su departamento de patología.

OTRAS SEÑALES EN EL SISTEMA KANBAN

Las tarjetas no son el único medio para indicar la necesidad de producir más unidades de una parte cualquiera. Existen también otros métodos menos formales, incluso sistemas con contenedores y sin ellos.

Sistema con contenedores A veces, el propio contenedor se usa como dispositivo de señales: un contenedor vacío indica la necesidad de volver a llenarlo. Unisys adoptó este enfoque con elementos de bajo valor. La cantidad de inventario de la parte en cuestión se ajusta agregando o suprimiendo contenedores. Este sistema funciona bien cuando el contenedor ha sido diseñado especialmente para una parte específica y ninguna otra puede ser colocada accidentalmente en él. Tal es el caso cuando el contenedor es en realidad una tarima u otro accesorio utilizado para colocar la parte en su sitio durante un proceso de precisión.

Sistema sin contenedores Se han creado sistemas que no requieren contenedores. En las operaciones de línea de ensamblaje, los operadores usan áreas de sus bancos de trabajo para colocar las unidades terminadas en una cuadrícula pintada, correspondiendo una unidad a cada cuadrado.

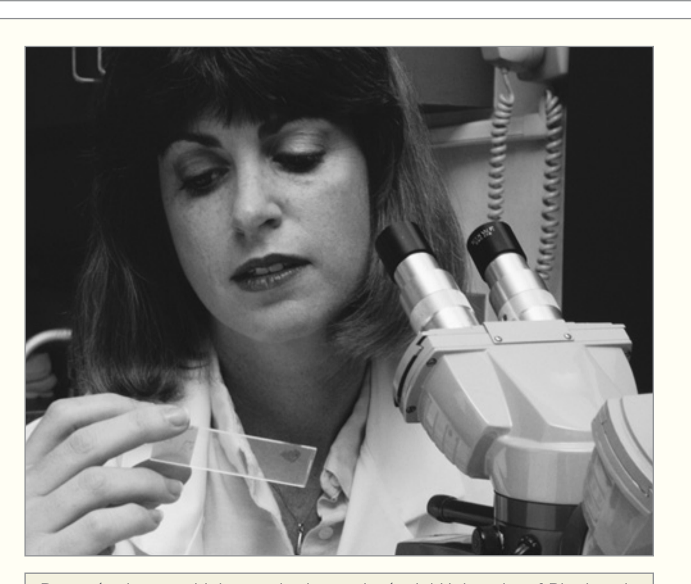
PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 9.2 SISTEMAS ESBELTOS EN EL UNIVERSITY OF PITTSBURGH MEDICAL CENTER DE SHADYSIDE

El University of Pittsburgh Medical Center (UPMC) en Shadyside es un hospital de cuidados avanzados que cuenta con 486 camas y un equipo formado por más de 600 médicos de atención primaria y especialistas. Tratando siempre de mejorar, el UPMC aplicó por primera vez los principios del Sistema de Producción Toyota en 2001, en una unidad quirúrgica de 40 camas, y luego sistematizó los conceptos en un sistema esbelto llamado Iniciativa de Diseño Clínico (CDI, del inglés *Clinical Design Initiative*). Este método se centra en determinar la causa fundamental de un problema mediante la observación directa, y después lo elimina diseñando soluciones que son visuales, sencillas e inequívocas. A continuación, estas soluciones se prueban en un área pequeña y se mejoran hasta que se logran los resultados clínicos y los costos deseados, junto con un aumento en la satisfacción de los pacientes y el personal. Una vez perfeccionado, el proceso mejorado se instituye en otras áreas del hospital.

El UPMC usó en fechas recientes la metodología CDI para acelerar el tiempo de entrega de resultados en el laboratorio de patología. La distribución y los flujos de trabajo del laboratorio se basaban en un sistema de empuje, que utilizaba lotes y colas y producía tiempos de entrega prolongados, complejidad para llevar el control de lotes largos y desplazarlos, retrasos en el descubrimiento de problemas de calidad y costos de almacenamiento elevados. Antes de realizar la transición al sistema esbelto, el UPMC impartió un taller sobre los conceptos de los sistemas esbeltos a un grupo de empleados del laboratorio, seguido de un ejercicio 5S para organizar mejor el departamento. Se despejaron los espacios entre mesas de trabajo para poder reorganizar el equipo del laboratorio. Los elementos innecesarios se identificaron con etiquetas rojas y se retiraron. Se usaron controles visuales para ordenar los elementos restantes de manera cuidadosa y fácil de usar.

El ejercicio 5S de limpieza del lugar elevó la moral del personal. A continuación, se colocaron tarjetas *kanban* con la información de reorden en casi todos los elementos. Cuando se llega al punto en que hay que volver a ordenar la parte, se retira la tarjeta y se cuelga en un tablero. Ahora sólo se necesitan unos cuantos minutos al día para volver a pedir los materiales. Se ha eliminado el desabasto, así como los costosos pedidos urgentes, y el nivel general del inventario de suministros se redujo 50% a 60%.

Para abandonar el sistema de lotes y colas y adoptar uno basado en flujos en línea, se reacomodó el equipo del laboratorio para crear una distribución por células. La nueva disposición permite que las muestras de tejido que se están procesando circulen por las células del laboratorio y pasen con rapidez de la preparación, al corte, al horno y al teñido en el portaobjetos. Las muestras avanzan con mayor rapidez y pocos especímenes o ninguno acaban esperando entre uno y otro paso. Como resultado, el tiempo total necesario para preparar y analizar muestras de tejidos disminuyó de uno o dos días a menos de un día. La reducción en el tiempo de entrega implica que los médicos reciben ahora los resultados de patología más pronto, lo que a su vez acelera el diagnóstico y redunda en una estancia más corta de los pacientes. Además, el laboratorio realiza la misma cantidad de trabajo con 28% menos personal, y se cometen menos errores porque las fallas de calidad se descubren de inmediato.



Después de que el laboratorio de patología del University of Pittsburgh Medical Center adoptó un método de operaciones esbelto basado en un sistema lineal, en oposición a un sistema de lotes y colas, el tiempo que tardaba en procesar las muestras disminuyó de unos días a sólo unas horas. Como resultado, los diagnósticos se pueden hacer con mayor rapidez y la estancia de los pacientes en el hospital se acortó.

Fuente: "The Anatomy of Innovation", *Lean Enterprise Institute,* www.lean.org.

Cada cuadrado pintado representa un contenedor, y el número de cuadrados pintados en la mesa de trabajo de cada operador se ha calculado previamente para establecer el balanceo del flujo en línea. Cuando el siguiente usuario retira una unidad de uno de los cuadrados del productor, el cuadrado vacío es la señal de que es necesario producir otra unidad.

McDonald's utiliza un sistema sin contenedores. La información introducida por la persona que toma el pedido en la caja registradora se transmite a los cocineros y preparadores, que producen los sándwiches solicitados por el cliente.

> MAPAS DE FLUJO DE VALOR <

mapa de flujo de valor (VSM)
Herramienta cualitativa de los sistemas esbeltos para eliminar el desperdicio o *muda*, que incluye un diagrama del estado actual, un diagrama del estado futuro y un plan de implementación.

Un **mapa de flujo de valor (VSM,** del inglés *value stream mapping)* es una herramienta cualitativa que se usa mucho en los sistemas esbeltos para eliminar el desperdicio o *muda.* El desperdicio en muchos procesos llega a ser hasta de 60%. El mapa de flujo de valor es útil porque crea un "mapa" visual de todos los procesos que intervienen en el flujo de materiales e información en la cadena de valor de un producto. Estos mapas constan de *diagrama del estado actual,* un *diagrama del estado futuro* y un plan de implementación. Los mapas de flujo de valor abarcan toda la cadena de valor, desde que la empresa recibe las materias primas hasta que entrega el producto terminado al cliente. Así, tienden a ser más amplios en su alcance y muestran mucha más información que un mapa de proceso típico o un diagrama de flujo utilizado con los esfuerzos Six Sigma de mejoramiento de los procesos. La creación de una representación del panorama general ayuda a los gerentes a identificar el origen de las actividades dispendiosas que no agregan valor.

Para trazar un mapa de flujo de valor se siguen los pasos ilustrados en la figura 9.4. El primer paso es centrarse en una familia de productos para la cual se trazará el mapa. A continuación, se dibuja un mapa del estado actual de la situación de producción existente: los analistas empiezan desde el extremo del cliente y van avanzando corriente arriba para trazar el mapa a mano y registrar los tiempos reales de los procesos en lugar de depender de información no obtenida por medio de la observación directa. La información para trazar los flujos de materiales e información se puede recopilar del taller de fabricación, incluidos los datos relacionados con cada proceso: tiempo de ciclo (C/T), tiempo de preparación o cambio (C/O), tiempo útil (tiempo de máquinas disponible bajo demanda, expresado como un porcentaje), tamaño de los lotes de producción, número de personas requeridas para operar el proceso, número de variaciones del producto, tamaño del empaque (para trasladar el producto a la siguiente etapa), tiempo de trabajo (menos descansos) y tasa de desperdicio. En un mapa de flujo de valor se usa un conjunto estándar de iconos para representar el flujo de materiales, el flujo de información y la información general (para denotar operadores, inventarios de seguridad, etcétera). Aun cuando el glosario completo es extenso, en la figura 9.5 se presenta un conjunto representativo de estos iconos, que brindan un lenguaje común para describir en detalle cómo debe operar una instalación para crear un mejor flujo.

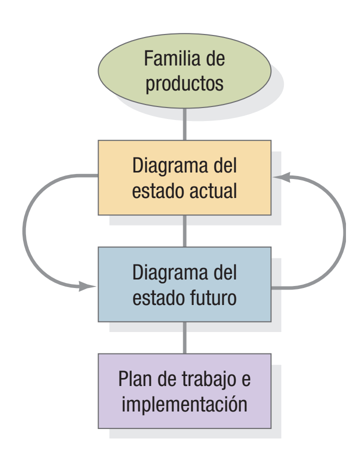


FIGURA 9.4

Pasos para trazar un mapa de flujo de valor

Fuente: Mike Rother y John Shook, *Learning to See,* Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, 2003, p. 9.

Los iconos de VSM se usan para ilustrar en la figura 9.6 cómo sería un mapa del estado actual de una empresa hipotética que fabrica cojinetes y recibe materias primas (láminas de acero) de Kline Steel Company, todos los lunes, para una familia de productos de retenedores (cajas que contienen los cojinetes de bolas); al final, envía diariamente su producto terminado a un cliente de manufactura automatizada de segundo nivel, llamado GNK Enterprises. La familia de productos de la compañía fabricante de cojinetes en cuestión consta de dos tipos de retenedores: grande (L, del inglés *large)* y pequeño (S, del inglés *small),* que se empacan para envío en bandejas retornables de 60 retenedores cada una. El proceso de manufactura consiste en una operación de prensado, una célula de perforación y moldeado y una operación de esmerilado y acabado, después de la cual los dos tipos de retenedores se preparan para el envío. Las características de los procesos y la reserva de inventario frente a cada proceso se muestran en el mapa del estado actual de la figura 9.6. Un trabajador ocupa cada estación. Aunque el tiempo total de procesamiento de cada retenedor es de sólo 1 minuto, se necesitan 16 días para el tiempo acumulado de entrega de la producción. Como es evidente, hay muchas oportunidades para reconfigurar los procesos y eliminar inventarios.

Los flujos de proceso que se muestran en la parte inferior de la figura 9.6 son parecidos a los diagramas de flujo estudiados en el capítulo 5 "Análisis de procesos", salvo que aquí se presenta información más detallada para cada proceso. Sin embargo, lo que en realidad distingue a los mapas de flujo de valor de los diagramas de flujo es la inclusión de los flujos de información que aparecen en la parte superior de la figura 9.6, en los que se planean y coordinan todas las actividades del proceso. Los mapas de flujo de valor son más completos que los diagramas de flujo de los procesos y combinan los sistemas de planificación y control (que se estudian con detalle en el capítulo 15) con diagramas de flujo detallados (estudiados en el capítulo 5) para crear una visión integral de la cadena de suministro que incluye tanto los flujos de información como los de materiales entre la empresa y sus proveedores y clientes.

Una vez terminado el mapa del estado actual, los analistas pueden usar los principios de los sistemas esbeltos, como la nivelación de las cargas de trabajo, programación por el método de tirón, tarjetas *kanban* y otras técnicas relacionadas, para crear un mapa del estado futuro con flujo de producto más optimizado y eficiente. El diagrama del estado futuro resalta las causas de

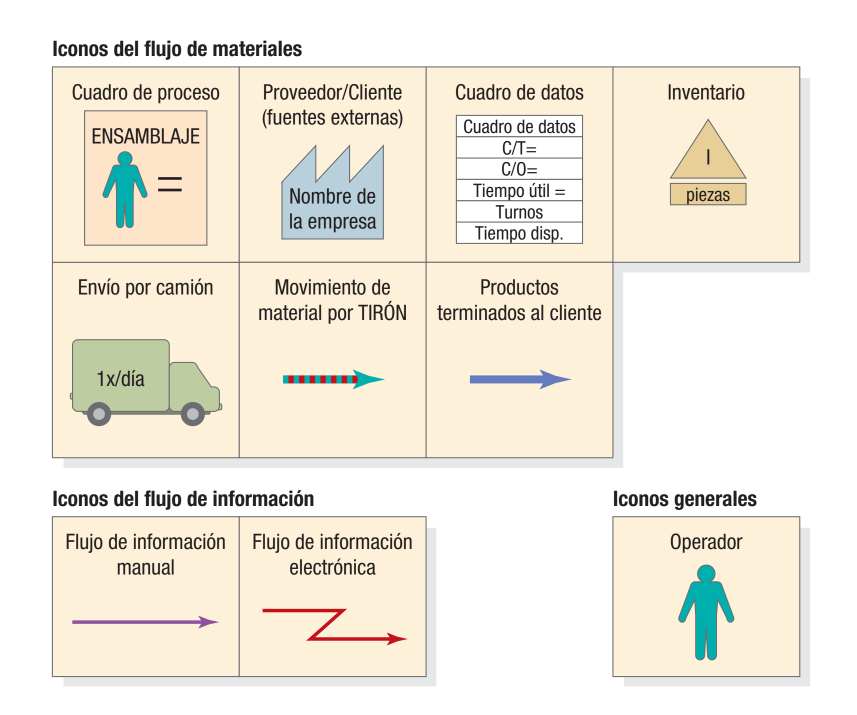
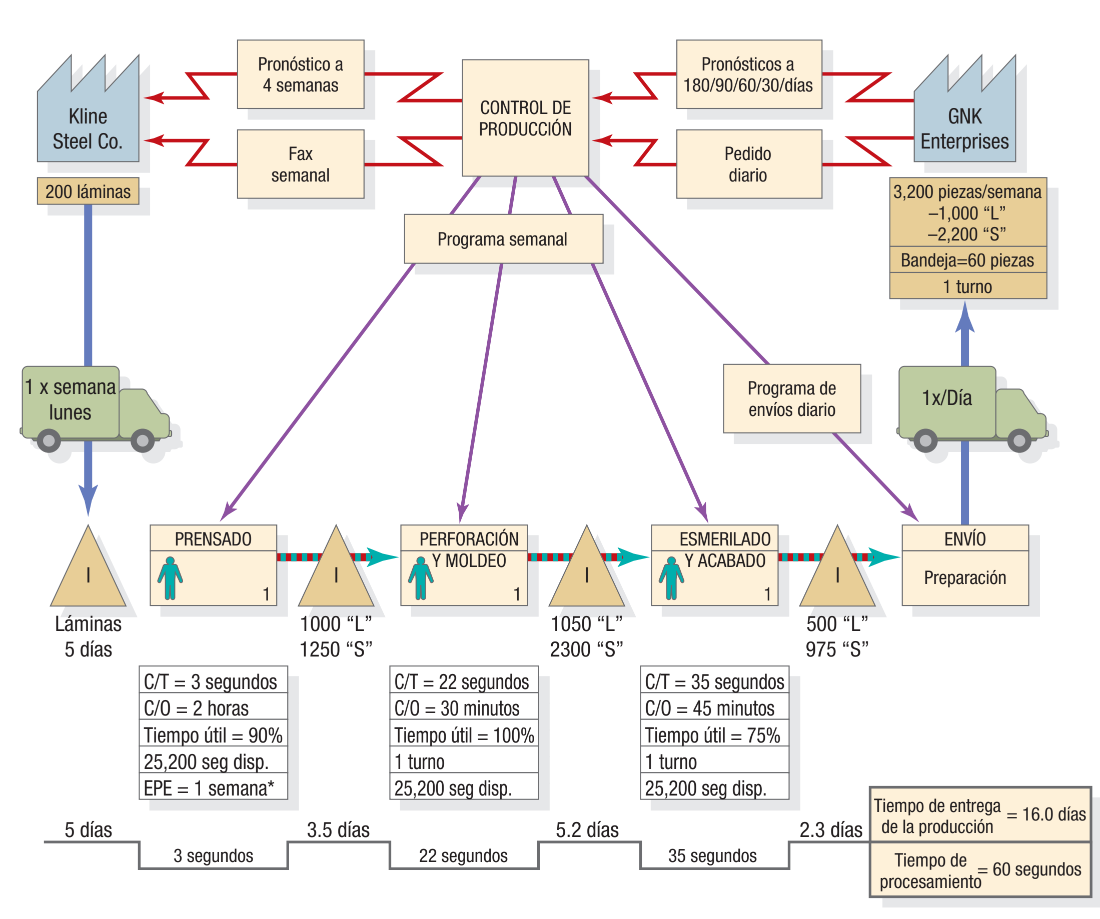


FIGURA 9.5 Conjunto seleccionado de iconos para mapas de flujo de valor



* EPE = 1 significa todas las partes, todas las semanas.

FIGURA 9.6 | Un mapa representativo del estado actual de una familia de retenedores en una empresa fabricante de cojinetes

desperdicio y cómo eliminarlas. Las flechas entre el estado actual y futuro en la figura 9.4 funcionan en ambos sentidos, lo que indica que el desarrollo de los estados actual y futuro son esfuerzos que se traslapan. Finalmente, el último paso tiene el propósito de preparar y usar activamente el plan de implementación para lograr el estado futuro. Tal vez sólo se necesiten dos días para pasar de la creación del mapa del estado futuro al punto en que la implementación puede dar inicio con una sola familia de productos. En esta etapa, el mapa del estado futuro se convierte, en esencia, en una guía para la implementación de un sistema esbelto, y se va puliendo a medida que la implementación avanza. Cuando el estado futuro se vuelve realidad, se traza un nuevo mapa del estado futuro, denotando así el mejoramiento continuo en el nivel del flujo de valor.

A diferencia de la Teoría de Restricciones (véase el capítulo 7), que acepta los cuellos de botella que existen en el sistema y luego se esfuerza por maximizar la producción en virtud de ese conjunto de restricciones, con los mapas de flujo de valor hay un esfuerzo por comprender mediante los mapas de los estados actual y futuro cómo pueden modificarse los procesos existentes para eliminar los cuellos de botella y otras actividades que generan desperdicio. La meta es acercar la tasa de producción de todo el proceso a la tasa de demanda deseada del cliente. Los beneficios de aplicar esta herramienta al proceso de eliminación de desperdicio incluyen una reducción en los tiempos de entrega e inventarios de trabajo en proceso, tasas inferiores de reelaboración y desperdicio y costos inferiores de mano de obra indirecta.

> JIT II <

El concepto JIT II fue concebido e implementado por Bose Corporation, una empresa que fabrica sistemas profesionales de sonido y altavoces de alta calidad. En un sistema JIT II, se invita al proveedor a la planta para que participe como miembro activo de la oficina de compras del cliente. El *representante en la planta* permanece en ésta en horario de tiempo completo, a expensas del proveedor, y tiene facultades para planear y programar el reabastecimiento de materiales que realizará dicho proveedor. Este acuerdo es un ejemplo de inventarios administrados por el vendedor. En el caso típico, los deberes del representante son los siguientes: emitir órdenes de compra para sus propias empresas en nombre del comprador; desarrollar ideas de diseño que ayuden a reducir costos y a mejorar los procesos de manufactura, y administrar programas de producción para los proveedores, contratistas de materiales y otros subcontratistas. En un convenio típico JIT, el representante en la planta sustituye al comprador, al vendedor y, algunas veces, al planificador de materiales. Por consiguiente, el sistema JIT II fomenta una interacción sumamente estrecha con los proveedores. Los requisitos que debe reunir un proveedor para ser incluido en el programa son muy estrictos.

En general, JIT II ofrece beneficios tanto a compradores como a proveedores, porque proporciona la estructura organizacional necesaria para mejorar la coordinación con los proveedores, ya que integra los procesos de logística, producción y compras. Varias corporaciones grandes han implementado el sistema JIT II en sus cadenas de suministro, entre otras, IBM, Intel, Honeywell, Roadway Express, Ingersoll-Rand y Westinghouse.

> VENTAJAS DE OPERACIÓN Y PROBLEMAS DE IMPLEMENTACIÓN <

Cuando una organización necesita realizar mejoras radicales, la solución puede ser un sistema esbelto. Estos sistemas forman parte integral de la estrategia de la corporación basada en la velocidad porque reducen los tiempos de ciclo, mejoran la rotación de inventarios y aumentan la productividad de la mano de obra. Estudios recientes también demuestran que las prácticas que representan los diferentes componentes de los sistemas esbeltos, como JIT, TQM, mantenimiento preventivo total (TPM, del inglés *total preventive maintenance)* y administración de recursos humanos (HTM, del inglés *human resource management),* de manera individual o acumulativa, mejoran el desempeño de las plantas manufactureras. Los sistemas esbeltos también suponen un considerable grado de participación de los empleados mediante sesiones de interacción de grupos pequeños, que han producido mejoras en muchos aspectos de las operaciones, entre los cuales destaca la calidad del servicio o producto.

Aun cuando las ventajas de los sistemas esbeltos parecen extraordinarias, pueden surgir problemas después de que un sistema esbelto ha estado mucho tiempo en funcionamiento. Ni siquiera los japoneses, que fueron pioneros de las prácticas JIT en la industria automovilística, son inmunes a los problemas: Tokio está sufriendo embotellamientos de tránsito formidables que se deben, en buena medida, a los camiones de reparto que llevan mercancías a los fabricantes JIT. Además, como muestra la práctica administrativa 9.3, la implementación de un sistema esbelto puede durar mucho tiempo. En consecuencia, en esta sección se abordarán algunos de los aspectos que los gerentes deben tener en cuenta cuando deciden implementar un sistema esbelto.

CONSIDERACIONES ORGANIZACIONALES

La implementación de un sistema esbelto requiere que la gerencia considere cuestiones relativas a las tensiones que se impondrían a los trabajadores, la colaboración y confianza entre éstos y la gerencia, los sistemas de premiación y las clasificaciones de la mano de obra.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 9.3 IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE MANUFACTURA ESBELTA EN CESSNA

Cessna Aircraft es líder en la fabricación de jets empresariales; aeronaves utilitarias; y aviones monomotores, accionados por pistones, de uso personal. Cessna ha producido más de 184,000 aviones hasta la fecha. De hecho, más de la mitad de las aeronaves de aviación general que vuelan hoy en día fueron fabricadas por Cessna. El precio de los aviones fluctúa entre 150,000 dólares por un avión monomotor accionado por pistones y más de 17 millones de dólares por un jet empresarial. Sin embargo, en 1986, la compañía decidió suspender la producción de aviones monomotores accionados por pistones porque el costo del seguro de responsabilidad era muy elevado. Siempre que un avión Cessna se estrellaba, se entablaban demandas contra la compañía, aun cuando el accidente no tuviera relación alguna con el desempeño del avión (por ejemplo, cuando se debía a un error del piloto, el clima, etcétera). Después de que la legislación federal limitó en 1994 la responsabilidad de los fabricantes de aviones, Cessna decidió volver a participar en el juego, y construyó una nueva planta en Independence, Kansas. Fue una oportunidad para incorporar un nuevo sistema de manufactura esbelta en una línea de productos que no había cambiado mucho en el transcurso de los años, salvo por los elementos de aviónica en la cabina de mando y un nuevo y eficiente motor, cuya fabricación se subcontrataba. Para esto, sin embargo, Cessna tuvo que aprender cómo pasar de la mentalidad de un artesano, que era la que tenía la última vez que produjo un avión pequeño, a la mentalidad de un fabricante moderno, que suponía una forma completamente nueva de hacer las cosas.



Los aviones monomotores de Cessna salen de la línea de ensamblaje en Independence, Kansas. Se fabrican tres versiones de aviones monomotores en la planta del sureste de Kansas, usando los conceptos de los sistemas esbeltos de manufactura.

Cessna adoptó tres prácticas de manufactura esbelta en su nueva planta. En primer lugar, la gerencia se comprometió con el concepto de equipo. El trabajo en equipo fomenta la flexibilidad de la mano de obra porque los integrantes del equipo aprenden las labores de los otros miembros y pueden intercambiar puestos en las líneas de ensamblaje, según sea necesario. Sin embargo, debido a la escasez de empleados técnicamente calificados en la industria, Cessna tuvo que contratar empleados que carecían de habilidades para trabajar con chapas metálicas. Al principio, la productividad sufrió, pero se recontrató a trabajadores jubilados de la línea de ensamblaje para que actuaran como mentores y enseñaran a los nuevos empleados las habilidades y confianza que necesitaban para desempeñar su trabajo. Se necesitaron cuatro años para que los equipos llegaran a ser competentes en la resolución de conflictos y problemas y adquirieran la flexibilidad que se necesitaba.

En segundo término, Cessna celebró convenios con varios de sus proveedores para que éstos administraran los inventarios. Por ejemplo, dos ingenieros de campo de Honeywell, que también ayudan a resolver los problemas que se presentan después de la instalación, mantienen en la planta un inventario de aviónica para 30 días, con valor de 30 millones de dólares. Además, se abrió un almacén en las cercanías para alojar los inventarios de varios proveedores. Las operaciones del almacén se integran con el programa de la planta para que el inventario se entregue diariamente en la línea de producción. Los proveedores que en un principio rechazaron la idea, entendieron finalmente las ventajas que ofrecía.

Por último, Cessna incorporó células de manufactura y tecnología de grupo en su proceso manufacturero y abandonó el método de procesos por lotes, que se usa con la estrategia de fabricación para mantener en inventario. En el pasado, Cessna mantenía una red de distribuidores que aceptaban lo que se les enviaba. Esto requería inventarios grandes para atender la demanda de los distribuidores. Si la demanda se sobreestimaba y se producían demasiados aviones, la compañía tenía que ofrecer incentivos de compra a los distribuidores para deshacerse de los excedentes en sus inventarios. En la actualidad, Cessna ensambla por pedido. Este cambio en la estrategia de manufactura requirió un cambio en el proceso de manufactura, pero también en la manera como Cessna hace negocios con sus distribuidores.

Cessna llevó a cabo la transición de fabricación artesanal a moderna, pero no sin trabajo arduo. Aunque su inversión en inventarios registró mejoras, Cessna todavía necesita el doble de horas de lo que tardaba en la década de 1980 para fabricar un modelo 172. La capacidad teórica de la planta es de 2,000 aviones al año, pero el objetivo anual, cuatro años después del inicio de las operaciones, era de sólo 975 aviones al año. La lentitud en el arranque se debió en buena medida a los trabajadores nuevos. Esta experiencia en Cessna demuestra que para implantar la manufactura esbelta se requiere un compromiso a largo plazo. Cessna sigue construyendo con base en dicho compromiso, y en 2004 se iniciaron las obras de una nueva expansión de su planta de Independence, que costará 20.4 millones de dólares. Cuando la ampliación quede concluida, apoyará la producción y entrega de la línea de productos de aviones monomotores de Cessna y su nuevo jet empresarial para nivel de entrada, el Citation Mustang.

Fuente: Phillip Siekman, "Cessna Tackles Lean Manufacturing", *Fortune,* 1 de mayo de 2000, pp. 1222 B–1222 Z; www.cessna.com, agosto de 2005.

Los costos humanos de los sistemas esbeltos Los sistemas esbeltos pueden combinarse con el control estadístico de procesos (SPC) para reducir las variaciones en la producción. Sin embargo, esta combinación requiere un alto grado de reglamentación estricta y, a veces, provoca tensiones en la mano de obra. Por ejemplo, en el Sistema de Producción Toyota, los trabajadores deben cumplir con tiempos de ciclo específicos, en tanto que con el SPC, tienen que aplicar los métodos prescritos para la resolución de problemas. Este tipo de sistemas puede hacer que los trabajadores se sientan presionados y tensos, lo que provoca pérdidas de productividad o una disminución de la calidad. Además, los trabajadores pueden sentir que han perdido parte de su autonomía a causa de los estrechos vínculos que existen en los flujos de trabajo entre las estaciones, con excedentes de capacidad o inventarios de seguridad pequeños o inexistentes. Los gerentes tienen la posibilidad

de mitigar algunos de esos efectos, permitiendo cierta holgura en el sistema, ya sea con inventarios de seguridad u holgura en la capacidad, y haciendo énfasis en los flujos de trabajo y no en el ritmo de actividad de los trabajadores. Otra opción es que los gerentes promuevan la formación de equipos de trabajo y permitan que éstos determinen sus respectivas asignaciones de tareas, dentro del dominio de responsabilidad de cada equipo.

Cooperación y confianza En un sistema esbelto, los trabajadores y los supervisores de primera línea deben asumir responsabilidades que antes correspondían a los gerentes de nivel medio y al personal de soporte. Actividades como la programación, aceleración y mejoramiento de la productividad se volvieron parte de las funciones regulares del personal de nivel bajo. En consecuencia, las relaciones de trabajo en la organización deben reorientarse para fomentar una estrecha cooperación y confianza mutua entre la mano de obra y la dirección. Sin embargo, puede ser difícil establecer este ambiente, sobre todo a la luz de la relación históricamente antagónica entre los dos grupos.

Sistemas de premiación y clasificaciones de la mano de obra En algunos casos es necesario renovar el sistema de premiación cuando se implementa un sistema esbelto. En General Motors, por ejemplo, un proyecto encaminado a reducir el inventario en una planta empezó a tener problemas porque el superintendente de producción se negó a disminuir la producción de ciertas partes innecesarias que se fabricaban. ¿Por qué? Porque su salario se basaba en el volumen de producción de la planta.

El reajuste de los sistemas de premiación no es el único obstáculo. Tradicionalmente, los contratos colectivos de trabajo han restado flexibilidad a la gerencia para asignar otras tareas a los trabajadores a medida que se presenta la necesidad. Por ejemplo, en Estados Unidos, la planta automotriz típica tiene varios sindicatos y docenas de clasificaciones laborales. En general, los trabajadores que pertenecen a cada clasificación sólo pueden realizar una gama limitada de tareas. En algunos casos, las compañías se las han ingeniado para dar a estos empleados más flexibilidad, otorgando otro tipo de prestaciones y concesiones sindicales. Sin embargo, en otros casos, las empresas han tenido que transferido sus plantas a otras localidades para aprovechar la mano de obra extranjera o no sindicalizada.

CONSIDERACIONES SOBRE LOS PROCESOS

Por lo general, las empresas que utilizan sistemas esbeltos tienen algunos flujos de trabajo dominantes. Para aprovechar las prácticas esbeltas, las compañías podrían modificar su distribución física actual. Tal vez sería necesario acercar ciertas estaciones de trabajo y establecer células de máquinas dedicadas a la fabricación de determinadas familias de componentes. Una encuesta realizada entre 68 compañías que empleaban sistemas esbeltos reveló que el factor más importante para el éxito en la implementación es cambiar los flujos de productos y la distribución física a un diseño celular. Sin embargo, la reorganización de una planta para ajustarla a las prácticas esbeltas puede ser costosa. Por ejemplo, muchas plantas reciben actualmente sus materias primas y partes compradas por ferrocarril, pero para facilitar los embarques más pequeños y frecuentes, en realidad sería preferible que las entregas se efectuaran en camiones. Las plataformas de carga tendrían que reconstruirse o ampliarse, y habría que reubicar ciertas operaciones para adaptarse al cambio en la modalidad de transporte y las cantidades en las que tendrían que recibir los materiales.

INVENTARIO Y PROGRAMACIÓN

Es necesario que las empresas manufactureras tengan programas maestros de producción estables, tiempos cortos de preparación y suministros confiables de materiales y componentes para que puedan alcanzar todo el potencial del concepto de sistemas esbeltos.

Estabilidad del programa En los ambientes de alto volumen que fabrican para inventario, los programas diarios de producción tienen que mantenerse estables durante largos periodos. En Toyota, el programa maestro de producción se expresa en términos de fracciones de día, abarcando un periodo de tres meses, y se somete a revisiones sólo una vez al mes. El primer mes del programa se congela para evitar cambios e interrupciones en el programa diario de producción de cada estación de trabajo; es decir; las estaciones de trabajo tienen que ajustarse al mismo programa de trabajo todos los días del mes. Al principio de cada mes, se emiten nuevas tarjetas *kanban* de acuerdo con la nueva tasa de producción diaria. Los programas estables son necesarios para poder balancear las líneas de producción y sea posible encontrar nuevas asignaciones para los empleados que, en otras condiciones, tal vez no serían plenamente aprovechados. Los sistemas esbeltos aplicados en ambientes de alto volumen que fabrican para inventario no tienen la capacidad de responder con rapidez a los cambios de programación, porque disponen de poca holgura en la capacidad o en el inventario para absorber estos cambios.

Operaciones de preparación Para aprovechar las ventajas de un sistema esbelto en términos de inventarios, es preciso usar lotes de tamaño pequeño. Sin embargo, en virtud de que los lotes pequeños requieren un gran número de operaciones de preparación, las compañías deberán reducir apreciablemente los tiempos de preparación. Algunas de ellas no han logrado abreviar

dichos tiempos y, por esa razón, tienen que recurrir a la producción en grandes lotes, privándose así de alunas de las ventajas de los sistemas esbeltos. Asimismo, los sistemas esbeltos son vulnerables a operaciones de preparación prolongadas para la producción de diferentes productos por el hecho de que los bajos niveles de inventario de bienes terminados son insuficientes para satisfacer la demanda durante los periodos en que el sistema no funciona. Si no es posible reducir el tiempo de preparación, deben acumularse grandes inventarios de bienes terminados del producto anterior para compensar. En la industria automovilística, cada semana que se cierra una planta para realizar los ajustes necesarios para fabricar un nuevo modelo cuesta entre 16 y 20 millones de dólares en utilidades antes de impuestos.

Compras y logística Si la empresa no puede concertar con los proveedores los envíos frecuentes y pequeños de los artículos comprados, no le será posible obtener grandes ahorros por concepto de inventario. Por ejemplo, en Estados Unidos, este tipo de arreglo suele ser difícil debido a la dispersión geográfica de los proveedores.

Los embarques de materias primas y componentes deben ser confiables, en virtud de los bajos niveles de inventario que se mantienen en los sistemas esbeltos. Una planta puede cerrar por falta de materiales. Por ejemplo, una huelga qué estalló en la planta de GM en Lordstown, Ohio, obligó al cierre de la planta Saturn en Spring Hill, Tennessee, lo que se tradujo en la pérdida de producción de 1000 automóviles diarios. Lordstown provee de partes a la planta Saturn, la cual no acumula inventarios de partes a causa del sistema esbelto que tiene en práctica. Asimismo, la recuperación se vuelve más prolongada y difícil en un sistema esbelto después de que las cadenas de suministro han sufrido interrupciones, tal como ocurrió inmediatamente después de los ataques terroristas del 11 de septiembre.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> ECUACIÓN CLAVE <

Número de contenedores:

$$\kappa = \frac{\text{Demanda promedio durante el tiempo de entrega} + \text{Inventario de seguridad}}{\text{Número de unidades por contenedor}}$$

$$= \frac{d(\bar{\omega}+\bar{\rho})(1+\alpha)}{c}$$

> TÉRMINOS CLAVE <

cinco S (5S) 353
ensamblaje de modelos mixtos 351
filosofía justo a tiempo (JIT) 348
kanban 356
lote 350
mapa de flujo de valor (VSM) 360
método de empuje 349
método de tirón 349
poka yoke 350
preparación 350
sistema JIT 348
sistemas esbeltos 348
tiempo de preparación de un solo dígito 351

> PROBLEMA RESUELTO <

Una compañía que utiliza un sistema *kanban* trabaja con un grupo de máquinas ineficiente. Por ejemplo, la demanda diaria de la parte L105A es de 3,000 unidades. El tiempo promedio de espera para recibir un nuevo contenedor de partes es de 0.8 día. El tiempo de procesamiento de un contenedor de L105A es de 0.2 día, y cada contenedor es de 270 unidades. La empresa cuenta actualmente con 20 contenedores para ese elemento.

a. ¿Cuál es el valor de la variable de política, α?

b. ¿Cuál es el inventario total planeado (trabajo en proceso y bienes terminados) del elemento L105A?

c. Suponga que la variable de política, α, tiene un valor de 0. ¿Cuántos contenedores se necesitarían ahora? ¿Qué efecto tiene la variable de política en este ejemplo?

SOLUCIÓN

a. Se aplica la ecuación correspondiente al número de contenedores y después se resuelve para obtener α:

$$\kappa = \frac{d(\bar{\omega}+\bar{\rho})(1+\alpha)}{c}$$

$$= \frac{3{,}000(0.8+0.2)(1+\alpha)}{270} = 20$$

y

$$(1+\alpha) = \frac{20(270)}{3{,}000(0.8+0.2)} = 1.8$$

$$\alpha = 1.8 - 1 = 0.8$$

b. En virtud de que hay 20 contenedores en el sistema y cada contenedor tiene capacidad para 270 unidades, el inventario planeado total es de 20(270) = 5400 unidades.

c. Si $\alpha = 0$

$$\kappa = \frac{3{,}000(0.8+0.2)(1+0)}{270} = 11.11 \text{ o } 12 \text{ contenedores}$$

El número de contenedores se ajusta de acuerdo con la variable de política. En este caso, la diferencia es muy importante porque $\bar{\omega} + \bar{\rho}$ es bastante grande y el número de unidades por contenedor es pequeño en relación con la demanda diaria.

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. Compare y contraste las dos situaciones siguientes:
   a. El sistema esbelto de una compañía hace hincapié en el trabajo de equipo. Los empleados se sienten más comprometidos y, por lo tanto, la productividad y la calidad han aumentado en la compañía. El problema es que los trabajadores también resienten la pérdida de la autonomía individual.
   b. Un profesor de humanidades está convencido de que todos sus estudiantes desean aprender. Para alentar a sus alumnos a trabajar juntos y aprender unos de otros, fomentando así la participación, productividad y calidad de la experiencia de aprendizaje, el profesor anuncia que todos los estudiantes de la clase recibirán la misma calificación y que ésta se basará en el rendimiento del grupo.
2. ¿Qué elementos de los sistemas esbeltos serían más problemáticos para los fabricantes que desearan implementarlos? ¿Por qué?
3. Identifique un proceso de servicio o manufactura que conozca y trace un mapa del estado actual del flujo de valor para representar los flujos existentes de información y materiales.

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software (en inglés), como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. La compañía fabricante de motocicletas Harvey produce tres modelos: el Tiger, especialmente diseñado para usarse en caminos de tierra; el LX2000, una motocicleta muy ágil para carreras, y el Golden, que es una máquina pesada para turismo. El programa maestro de producción correspondiente a este mes requiere la fabricación de 54 modelos Golden, 42 modelos LX2000 y 30 modelos Tiger, en cada turno de 7 horas.
   a. ¿Qué tiempo promedio de ciclo tendrá que alcanzar la línea de ensamblaje para cumplir con la cuota de producción en siete horas?
   b. Si se usa la programación de modelos mixtos, ¿cuántas unidades de cada modelo podrán fabricarse antes de que se repita el ciclo de producción?
   c. Determine una secuencia de producción apropiada para la máxima expresión de la producción en lotes pequeños: los de una sola unidad.
   d. En el diseño de un nuevo modelo, el Cheetah, se han reunido características de los modelos Tiger, LX2000 y Golden. El diseño combinado resultante tiene un carácter indefinido y se espera que logre atraer algunas ventas de los otros modelos. Determine un programa de modelos mixtos que permita producir 52 modelos Golden, 39 LX2000, 26 Tiger y 13 Cheetah, en cada turno de 7 horas. A pesar de que se registrará sólo un ligero incremento en el número total de motocicletas producidas por día, ¿qué problema se podría prever en la implementación de este cambio a causa del programa de producción indicado en la parte (b)?

2. En una célula de fabricación establecida en la empresa Spradley's Sprockets se usa el método de tirón para proveer de engranajes a una línea de ensamblaje. George Jitson está a cargo de esa línea de ensamblaje, la cual requiere 500 engranajes cada día. El tiempo de espera típico de los contenedores es de 0.20 días en la célula de fabricación. La capacidad de cada contenedor es de 20 engranajes, y para llenarlo se requieren 1.8 días por concepto de tiempo de máquina. Los tiempos de preparación son insignificantes. Si se establece una variable de política de 5% para contingencias imprevistas, ¿cuántos contenedores tendrá que autorizar Jitson para este sistema de reabastecimiento de engranajes?

3. Le han pedido que analice el sistema *kanban* de LeWin, una compañía francesa que fabrica artefactos para juegos de azar. Una de las estaciones de trabajo que alimenta la línea de ensamblaje produce la parte M670N. La demanda diaria de la parte M670N es de 1,800 unidades. El tiempo promedio de procesamiento por unidad es de 0.003 días. Los registros de LeWin muestran que el contenedor promedio pasa 1.05 días en la estación de trabajo del alimentador, en espera de ser utilizado. En el contenedor de la parte M670N caben 300 unidades. Se han autorizado doce contenedores para esa parte. Recuerde que $\bar{\rho}$ es el tiempo promedio de procesamiento por contenedor, y no de cada parte en lo individual.

a. Encuentre el valor de la variable de política, α, que exprese la cantidad del inventario de seguridad implícito en este sistema.

b. Use el valor implícito de α tomándolo de la parte (a), para determinar la reducción requerida del tiempo de espera si se suprime un contenedor. Suponga que todos los demás parámetros permanecen constantes.

4. Una línea de ensamblaje requiere dos componentes: trebejos G y trebejos W. Los trebejos G se producen en el centro 1 y los trebejos W en el centro 2. Para cada unidad del elemento final, que llamaremos trebejo completo J, se requieren 3 trebejos G y 2 W, como se ilustra en la figura 9.7. La cuota diaria de producción en la línea de ensamblaje es de 800 trebejos completos J.

En el contenedor de trebejos G caben 80 unidades. La variable de política para el centro 1 se ha establecido en 0.09. El tiempo promedio de espera de un contenedor de trebejos G es de 0.09 día y se requiere 0.06 día para producir un contenedor. La capacidad del contenedor de trebejos W es de 50 unidades, y la variable de política para el centro 2 es de 0.08. El tiempo promedio de espera por cada contenedor de trebejos W es de 0.14 día, y el tiempo necesario para producir un contenedor es de 0.20 día.

a. ¿Cuántos contenedores se necesitan para los trebejos G?

b. ¿Cuántos contenedores se necesitan para los trebejos W?

5. Gestalt, Inc. aplica un sistema *kanban* en sus instalaciones de producción de automóviles en Alemania. Esas instalaciones funcionan 8 horas diarias para producir el Jitterbug, el automóvil que sustituirá al obsoleto, aunque enormemente popular, Jitney Beetle. Suponga que una parte determinada requiere 150 segundos de procesamiento en la célula de máquinas 33B y un contenedor de partes permanece allí un tiempo de espera de 2.4 horas en promedio. La gerencia ha autorizado una reserva de 10% para hacer frente a situaciones inesperadas. La capacidad de cada contenedor es de 30 partes y se ha autorizado un total de 8 contenedores. ¿Cuánta demanda diaria se podrá satisfacer con este sistema? (*Sugerencia*: Recuerde que $\bar{\rho}$ es el tiempo promedio de procesamiento de todo el contenedor, no de cada parte en lo individual).

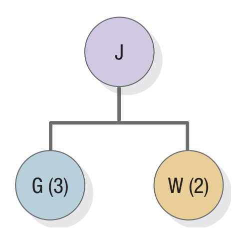


FIGURA 9.7 | Componentes del elemento final J

6. Un supervisor del Servicio Postal de Estados Unidos está buscando la forma de reducir las presiones en el departamento de clasificación de correspondencia. De acuerdo con el procedimiento actual, las cartas que llevan estampillas pasan por una máquina matasellos y se colocan en bateas cuya capacidad es de 375 piezas. Las bateas llenas son empujadas hacia los empleados postales, que leen y teclean los códigos postales en una máquina automática de clasificación, a razón de una batea cada 375 segundos. Para aliviar la tensión que produce el hecho de que el ritmo de la máquina matasellos supere al de los empleados de clasificación, se ha propuesto un sistema de tirón. Cuando los empleados estén listos para procesar otra batea de correspondencia, simplemente la tomarán del área de la máquina matasellos. ¿Cuántas bateas deberán circular entre los empleados de clasificación y la máquina matasellos si hay 90,000 cartas por clasificar en un turno de 8 horas, si la variable de política del inventario de seguridad, α, es de 0.18 y el tiempo promedio de espera más el tiempo de manejo de materiales es de 25 minutos por batea?

7. El programa de Mazda requiere la producción de 1,200 automóviles Mazda en cada uno de los 22 días de trabajo del mes de enero, y 900 Mazda en cada uno de los 20 días de producción de febrero. Mazda usa un sistema *kanban* para comunicarse con Gesundheit, un proveedor de neumáticos vecino. Mazda compra cuatro neumáticos de Gesundheit por vehículo. La variable de política del inventario de seguridad, α, es de 0.15. La capacidad del contenedor (un camión de reparto) es de 200 neumáticos. El tiempo promedio de espera más el tiempo de manejo de materiales es de 0.16 días por contenedor. Las líneas de ensamblaje se balancean a principios de cada mes. En enero, el tiempo promedio de procesamiento por contenedor es de 0.10 días. El tiempo de procesamiento en febrero será, en promedio, de 0.125 días por contenedor. ¿Cuántos contenedores deberán autorizarse para enero? ¿Y cuántos para febrero?

8. Jitsmart es un comerciante minorista de juguetes de plástico llamados "figuras de acción". Esas figuras las compra a Tacky Toys, Inc., y las recibe en cajas de 48 unidades. Las cajas llenas se almacenan en anaqueles altos, fuera del alcance de los clientes. También maneja un pequeño inventario en anaqueles instalados al alcance de los niños. Cuando el inventario del anaquel inferior se agota, eso indica la necesidad de bajar una caja de figuras de acción para reaprovisionar el inventario. Entonces se extrae de la caja una tarjeta de reorden y ésta se envía a Tacky Toys para autorizar el reabastecimiento de un contenedor de figuras de acción. La tasa promedio de demanda de una figura de acción muy popular, el Agente 99, es de 36 unidades diarias. El tiempo total de entrega (tiempo de espera más tiempo de procesamiento) es de 11 días. La variable de política del inventario de seguridad de Jitsmart, α, es de 0.25. ¿Cuál es el nivel autorizado del inventario de Jitsmart?

CASO

Copper Kettle Catering

Copper Kettle Catering (CKC) es una compañía de servicios completos de alimentos, que ofrece desde almuerzos en cajas, para días de campo o reuniones de trabajo, hasta grandes banquetes para bodas, cenas o fiestas de oficina. Fundada en 1972 por Wayne y Janet Williams como un servicio de reparto de almuerzos para oficina, CKC ha crecido hasta convertirse en una de las más grandes empresas de servicio de alimentos a domicilio en Raleigh, Carolina del Norte. Los Williams dividen la demanda de sus clientes en dos categorías: *alimentos sólo para entregar* y *alimentos para entregar y servir.*

En la primera de esas categorías, la empresa entrega una caja que contiene un sándwich, ensalada, postre y fruta. El menú de este servicio se limita a seis variedades de sándwiches, tres ensaladas o papas fritas, y una galleta de chocolate o barra de fruta. Con cada comida se incluyen uvas y una rebanada de naranja, y se puede pedir té helado para acompañar las comidas. El nivel general de demanda de este servicio es más o menos constante a lo largo del año, aunque hay variación en la mezcla de elementos del menú que se entregan. El horizonte de planificación de este segmento de negocios es corto: por lo general, los clientes no hacen sus pedidos con más de un día de anticipación. CKC requiere que los clientes hagan antes de las 10:00 de la mañana sus pedidos de alimentos para entregar, pues sólo así les puede garantizar la entrega el mismo día.

La categoría de negocios correspondiente a entregar y servir los alimentos se centra en el servicio de banquetes para grandes fiestas, cenas y bodas. La amplia variedad de elementos del menú incluye una selección completa de entremeses, platos principales, bebidas y otros alimentos preparados por pedido especial. La demanda de estos servicios es mucho más estacional, con puntos máximos a finales de primavera y principios de verano para las bodas y finales de otoño y principios de invierno para las festividades navideñas y de fin de año. Sin embargo, este segmento tiene un horizonte de planificación más largo. Los clientes reservan las fechas del servicio y escogen los elementos del menú con varias semanas o meses de anticipación.

Las instalaciones de CKC para preparar los alimentos atienden ambas operaciones. La distribución física de esas instalaciones es semejante a la de un taller de producción intermitente. Cuenta con cinco áreas de trabajo principales: el área de estufas y hornos para la preparación de alimentos calientes; el área fría para ensaladas; el área para entremeses, el área para sándwiches y el área de ensamblaje donde los pedidos para entregar a domicilio se empacan en cajas y los pedidos para entregar y servir se reúnen y colocan en bandejas. Los alimentos que requieren refrigeración se almacenan en tres cuartos frigoríficos, y hay una alacena amplia para guardar los productos no perecederos. Las limitaciones de espacio y el riesgo de que la comida se eche a perder limitan la cantidad de materias primas y alimentos preparados que es posible tener en inventario en un momento dado. CKC tiene proveedores externos que le venden los postres. Algunos entregan los postres en CKC, pero otros requieren que la empresa envíe a alguien a recogerlos en las instalaciones del proveedor.

La programación de los pedidos es un proceso en dos etapas. Todos los lunes, los Williams preparan el programa de pedidos para entregar y servir que deberán procesarse cada día. Típicamente, CKC tiene que atender múltiples pedidos de este tipo cada día de la semana. Este nivel demanda permite cierto grado de eficiencia en la preparación de múltiples pedidos. Los pedidos destinados únicamente a la entrega se programan todos los días, porque los tiempos de reparto son cortos. A veces, en CKC se agotan los ingredientes para los elementos del menú "sólo para entregar" porque el espacio de inventario es limitado.

Wayne y Janet Williams tienen 10 empleados de tiempo completo: dos cocineros y ocho trabajadores que preparan los alimentos y también se desempeñan como camareros para atender los pedidos de entrega y servicio. Durante los periodos de alta demanda, los Williams contratan más camareros de tiempo parcial. El puesto de cocinero es especializado y requiere un alto grado de capacitación y habilidad. El resto de los empleados son flexibles y pueden ser transferidos de una a otra tarea según se requiera.

El ambiente de negocios en el ramo de servicio de alimentos es competitivo. Las prioridades competitivas son: alimentos de alta calidad, fiabilidad en la entrega, flexibilidad y costo (en ese orden). "La calidad de los alimentos y su preparación es lo más importante", afirma Wayne Williams. "Los competidores que ofrecen alimentos de baja calidad no permanecen mucho tiempo en el negocio". La calidad se mide por la frescura y el sabor. La fiabilidad en la entrega abarca tanto la puntualidad como el tiempo requerido para atender los pedidos del cliente (en efecto, el tiempo de entrega del pedido). La flexibilidad se centra tanto en la gama de solicitudes que una compañía de servicios de alimentos puede satisfacer, como en la variedad del menú.

Recientemente, CKC ha empezado a notar que los clientes exigen más flexibilidad en el menú y tiempos de respuesta más breves. Pequeñas empresas dedicadas a servir alimentos especializados han incursionado en el mercado y tratan de captar segmentos específicos de mercado, bien definidos. Un ejemplo de esto es la pequeña empresa de comidas llamada Lunches-R-Us, que ha establecido un local en medio de un gran complejo de oficinas para atender sus pedidos de almuerzos y que compite con CKC en términos de costos.

A Wayne y Janet Williams les ha impresionado el concepto de los sistemas esbeltos, sobre todo las ideas relacionadas con incrementar la flexibilidad, reducir los tiempos de entrega y abatir los costos. Eso es justamente lo que CKC necesita para seguir siendo una empresa competitiva. Sin embargo, los Williams desean saber si los conceptos y prácticas de los sistemas esbeltos pueden aplicarse a una empresa de servicios.

PREGUNTAS

1. ¿Las operaciones de Copper Kettle Catering se prestan a la aplicación de los conceptos y prácticas de los sistemas esbeltos? Explique.
2. ¿Cuáles son los principales obstáculos, si los hay, para implementar un sistema esbelto en Copper Kettle Catering?
3. ¿Qué recomendaría usted que hicieran Wayne y Janet Williams para aprovechar los conceptos de los sistemas esbeltos en las operaciones de CKC?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ansberry, Clare, "Hurry-Up Inventory Method Hurts Where It Once Helped", *Wall Street Journal Online,* 25 de junio de 2002.

Beckett, W. K. y K. Dang, "Synchronous Manufacturing, New Methods, New Mind Set", *Journal of Business Strategy*, volumen 12, 1992, pp. 53–56.

Billesbach, Thomas J., "A Study of the Implementation of Just-in-Time in the United States", *Production and Inventory Management Journal*, tercer trimestre de 1991, pp. 1–4.

Dixon, Lance, "Tomorrow's Ideas Take Flight in Today's Leading Edge Corporations", *APICS—The Performance Advantage*, julio de 1996, p. 60.

Fuime, Orrest, "Lean Accounting and Finance", *Target*, volumen 18, número 4, cuarto trimestre de 2002, pp. 6–14.

Golhar, D. Y. y C. L. Stam, "The Just-in-Time Philosophy: A Literature Review", *International Journal of Production Research*, volumen 29, 1991, pp. 657–676.

Greenblatt, Sherwin, "Continuous Improvement in Supply Chain Management", *Chief Executive*, junio de 1993, pp. 40–43.

Hall, Robert W., "New Balance Athletic Shoe Company", *Target*, volumen 20, número 5, 2004, pp. 5–10.

Klein, J. A., "The Human Costs of Manufacturing Reform", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1989, pp. 60–66.

Sitio Web de Manufacturing Engineering, www.mfgeng.com/5S.htm.

Mascitelli, Ron, "Lean Thinking: It's About Efficient Value Creation", *Target*, volumen 16, número 2, segundo trimestre de 2000, pp. 22–26.

Millstein, Mitchell, "How to Make Your MRP System Flow", *APICS—The Performance Advantage*, julio de 2000, pp. 47–49.

Moody, Patricia E., "Bose Corporation: Hi-Fi Leader Stretches to Meet Growth Challenges", *Target*, invierno de 1991, pp. 17–22.

Rother, Mike y John Shook, *Learning to See*, Brookline, MA, The Lean Enterprise Institute, 2003.

Schaller, Jeff, "A 'Just Do It Now' Philosophy Rapidly Creates a Lean Culture, Produces Dramatic Results at Novametix Medical Systems", *Target*, volumen 18, número 2, segundo trimestre de 2002, pp. 48–54.

Shah, Rachna y Peter T. Ward, "Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance", *Journal of Operations Management*, volumen 21, 2003, pp. 129–149.

Spear, Steven J., "Learning to Lead at Toyota", *Harvard Business Review*, mayo de 2004, pp. 78–86.

Stewart, Douglas M. y John R. Grout, "The Human Side of Mistake Proofing", *Production and Operations Management*, volumen 10, número 4, invierno de 2001, pp. 440–459.

Syberg, Keith, "Best Practices (BP) Program: Honda of America Manufacturing", Target, volumen 15, número 2, segundo trimestre de 1999, pp. 46–48.

Tonkin, Lea, "System Sensor's Lean Journey", *Target*, volumen 18, número 2, segundo trimestre de 2002, pp. 44–47.

10

PARTE 3

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Identificar la naturaleza de las cadenas de suministro, tanto para proveedores de servicio como para empresas manufactureras.
2. Definir los aspectos clave de diseño asociados con los procesos de la cadena de suministro.
3. Definir las medidas críticas de la cadena de suministro.
4. Explicar la importancia estratégica del diseño de la cadena de suministro y ofrecer ejemplos reales de su aplicación en situaciones tanto de servicio como de manufactura.
5. Describir cómo Internet permite el desarrollo de cadenas de suministro virtuales.
6. Explicar en qué difieren las cadenas de suministro eficientes de las cadenas de suministro reactivas y los ambientes más apropiados para cada tipo de cadena de suministro.



El secreto de Dell es la rapidez con que mueve su inventario. Una computadora personalizada puede ponerse en el camión de reparto en 36 horas, lo que le permite mantener sus costos e inventarios más bajos que los de sus competidores.

CAPÍTULO 10

Estrategia de cadena de suministro

DELL INC.

Dell Inc., que se dedica a la personalización masiva de computadoras y obtiene ingresos anuales de 51,100 millones de dólares, está experimentando un formidable crecimiento y rentabilidad en una industria que tradicionalmente ha tenido márgenes de utilidad bajos. En 1996, Dell vendía computadoras portátiles, de escritorio y servidores a razón de un millón de dólares diarios. Hoy en día, sólo en el sitio Web de Dell se venden más de 50 millones de dólares en productos todos los días. Este éxito ha colocado a Dell en la posición de liderazgo entre los fabricantes de computadoras personales. ¿Cuál es el secreto de Dell? Para decirlo en una sola palabra: rapidez. Si un cliente pide una computadora personalizada, ésta puede ponerse en el camión de reparto en 36 horas. Gracias a esta capacidad, Dell puede mantener sus costos e inventarios en un nivel bajo, lo que le permite vender sus productos a precios entre 10 y 15% más bajos que los de sus competidores. Lo que interesa a Dell es la rapidez con que se mueve el inventario, y no cuánto hay ahí.

Un factor fundamental para surtir los pedidos de los clientes son las operaciones manufactureras de Dell y el desempeño de sus proveedores. El proceso de manufactura de Dell es suficientemente flexible para posponer el pedido de componentes y el ensamblaje de las computadoras hasta que llegue un pedido. Además, el plan de almacenamiento de Dell exige que la inmensa mayoría de sus componentes se almacene a menos de 15 minutos de sus plantas en Austin (Texas), Limerick (Irlanda) y Penang (Malasia). Los 33 principales proveedores de Dell, que abastecen 90% de los bienes que Dell necesita, usan un sitio Web para obtener datos sobre cómo se compara su desempeño con las normas de Dell, qué pedidos han enviado y la mejor manera de enviarlos. Dell vincula el sitio Web de sus proveedores con un sitio Web de colocación de pedidos para que a medida que los clientes levanten los pedidos, los proveedores sepan cuándo enviar los componentes, como las tarjetas madre y las pantallas de cristal líquido.

En la planta de Austin, Dell no tiene que pedir en realidad los componentes, ya que los proveedores se encargan de reabastecer el almacén y administran sus propios inventarios. Dell utiliza los componentes conforme los va necesitando y



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

no los tiene que pagar sino hasta que salen del almacén. Este sistema de proveedores y operaciones de manufactura le ha dado una gran ventaja sobre sus competidores. Por ejemplo, con un paquete de software llamado Factory Planner *se administra el programa de la fábrica para que las máquinas se construyan mientras las partes necesarias para las siguientes dos horas de pedidos se envían desde los centros de los proveedores. El centro dispone de 15 minutos para confirmar que tiene las partes necesarias y de una hora y 15 minutos para hacerlas llegar a la planta.*

Las operaciones eficientes de Dell se transfieren a sus proveedores de servicio, que también están acostumbrados a rebajar sus costos y reducir los tiempos de entrega. Por ejemplo, Dell podría enviar un mensaje por correo electrónico a UPS, solicitando que un monitor de computadora Sony le fuera enviado a cierto cliente, como parte de un sistema de computación recién adquirido. UPS saca entonces un monitor de los inventarios del proveedor correspondiente y programa su entrega al cliente junto con la PC, con lo cual Dell obtiene ahorros en costos de embarque e inventario.

Esa cuidadosa administración de la cadena de suministro permite que Dell opere con mayor eficiencia que ninguna otra compañía fabricante de computadoras.

Fuentes: "The Power of Virtual Integration: An Interview with Dell Computer's Michael Dell", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1998, pp. 72-85;, pp. 72–85; Daniel Roth, "Dell's Big New Act", *Fortune*, 6 de diciembre de 1999, pp. 152–156; Stacy Perman, "Automate or Die", *Business Week*, julio de 2001; "Dell Welcomes Millions to Its Web Site", www.dell.com, 2004.

Dell Inc. es un excelente ejemplo de cómo una empresa administra su cadena de valor para adquirir ventaja competitiva. Las cadenas de valor abarcan los vínculos internos entre los procesos centrales de una empresa, sus procesos auxiliares y los vínculos externos con los procesos de sus clientes y proveedores. La estrategia de operaciones de la empresa y sus prioridades competitivas guían las decisiones relacionadas con la cadena de valor. Hasta este momento, en este texto se ha hecho hincapié en que el análisis de los procesos individuales debe realizarse dentro del contexto de la cadena de valor. Por tanto, la sinergia de los procesos individuales proporciona valor a los clientes.

cadena de suministro

La red de servicios, materiales y flujos de información que vincula los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores de una empresa con los procesos de sus proveedores y clientes.

administración de la cadena de suministro

Formular una estrategia para organizar, controlar y motivar a los recursos que intervienen en el flujo de servicios y materiales dentro de la cadena de suministro.

estrategia de cadena de suministro

Diseñar la cadena de suministro de una empresa para que satisfaga las prioridades competitivas de la estrategia de operaciones de la empresa.

Debido a que ya se ha hablado del proceso de desarrollo de nuevos servicios y productos en el capítulo 2, "Estrategia de operaciones", este capítulo se centrará en lo que comúnmente se conoce como la **cadena de suministro,** que es la red de servicios, materiales y flujos de información que vincula los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores de una empresa con los procesos de sus proveedores y clientes.[1] Sin embargo, es importante hacer notar que una empresa puede tener múltiples cadenas de suministro, dependiendo de la mezcla de servicios o productos que produce. Un proveedor de una cadena de suministro puede no serlo de otra porque el servicio o producto es diferente o porque el proveedor simplemente no logró negociar un contrato satisfactorio.

La **administración de la cadena de suministro** consiste en formular una estrategia para organizar, controlar y motivar a los recursos que intervienen en el flujo de servicios y materiales dentro de la cadena de suministro. Con una **estrategia de cadena de suministro,** que es un aspecto esencial de la administración de la cadena de suministro, se trata de diseñar la cadena de suministro de una empresa para que satisfaga las prioridades competitivas de la estrategia de operaciones de la empresa. Para entender mejor las cuestiones estratégicas que enfrentan los gerentes de la cadena de suministro, comenzaremos con un comentario sobre las perspectivas organizacionales de la estrategia de cadena de suministro y su importancia para los fabricantes y los proveedores de servicios. En seguida, se presentará una reseña general del carácter de las cadenas de suministro para proveedores de servicio y empresas manufactureras. A continuación, se hablará de las medidas financieras y de operación del desempeño de las cadenas de suministro y su dinámica, seguido de cómo el desarrollo de cadenas de suministro integradas y el diseño de procesos eficaces de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los clientes pueden mitigar algunos de los efectos negativos de esas dinámicas. Por último, se analizarán las estrategias de cadena de suministro que las compañías siguen para adquirir ventaja competitiva.

ESTRATEGIA DE CADENA DE SUMINISTRO EN LA ORGANIZACIÓN

Las cadenas de suministro permean toda la organización. Es difícil imaginar un proceso en una empresa que no se vea afectado de un modo u otro por la cadena de suministro. Las cadenas de

[1]Los términos *cadena de valor* y *cadena de suministro* a veces se usan de manera intercambiable.

suministro deben administrarse para coordinar los insumos con los productos de una empresa a fin de lograr las prioridades competitivas correspondientes de los procesos que abarcan a toda la empresa. Internet ofrece una alternativa a los métodos tradicionales de administración de la cadena de suministro. Sin embargo, la empresa debe comprometerse a aplicar reingeniería a sus flujos de información en toda la organización, en especial a los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores. Estos procesos se relacionan con todas las áreas funcionales tradicionales de la empresa.

Una estrategia de cadena de suministro es esencial tanto para las empresas de servicios como para las manufactureras. En realidad, los proveedores de servicios empiezan a entender los posibles beneficios que les reportaría aplicar reingeniería a los procesos de su cadena de suministro. Por ejemplo, los hospitales se han mantenido firmemente aferrados a los métodos anticuados de compras y administración de materiales. Incluso con el advenimiento de organizaciones de compras grupales y grupos de compras centralizados, como Premier, Inc., un hospital típico reúne los pedidos de todas las áreas para adquirir suministros y equipo médico que van desde guantes de látex hasta mesas de operaciones. A menudo, la mercancía se selecciona de una pila de catálogos pasados de moda. Es preciso verificar los precios y enviar los pedidos por teléfono o fax a literalmente miles de distribuidores y proveedores.

¿Se puede mejorar este proceso? Columbia/HCA Health Care Corporation así lo cree. Está financiando varias empresas con la finalidad de crear un mercado electrónico para colocar pedidos en línea. Los sistemas se vincularán con los proveedores de varios cientos de miles de artículos médicos y quirúrgicos. Por supuesto, para aprovechar plenamente el mercado, los hospitales tendrán que aplicar reingeniería a sus procesos de relaciones con los proveedores a fin de disfrutar de los beneficios. No obstante, los posibles beneficios son considerables.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

> CADENAS DE SUMINISTRO PARA SERVICIOS Y MANUFACTURA <

Toda empresa u organización es miembro de alguna cadena de suministro. En esta sección se mostrarán las semejanzas y diferencias entre las cadenas de suministro para servicios y manufactura.

SERVICIOS

El diseño de la cadena de suministro para un proveedor de servicio se basa en la necesidad de proporcionar apoyo a los elementos esenciales de los diversos paquetes de servicios que entrega. Recuérdese que un *paquete de servicios* consta de instalaciones de apoyo, bienes facilitadores, servicios explícitos y servicios implícitos. Para entender la conexión entre las cadenas de servicio y los paquetes de servicios, se considerará el ejemplo de Flowers-on-Demand, una florería que cuenta con 27 establecimientos de venta al menudeo en el área metropolitana de Boston.[2] Para hacer sus pedidos de arreglos florales personalizados, los clientes visitan una de las tiendas, usan un número de teléfono sin costo de llamada, o van a la página Web de la florería. Una compañía local de servicios de Internet opera el número 1-800 y la página Web, toma los pedidos y los transmite a la florería. Los arreglos se producen en un centro de distribución, y las entregas se realizan por medio de servicios de mensajería locales, o por FedEx, si la entrega se realizará fuera del área de Boston. En los arreglos se usan flores frescas, traídas en avión de todas partes del mundo.

Lo que diferencia a Flowers-on-Demand de los servicios electrónicos de florería, como Teleflora o FTD, es que la florería arma todos los arreglos y puede enviar los pedidos de fuera del área para entrega al día siguiente en cualquier parte del país. Los elementos de su paquete de servicios incluyen los siguientes:

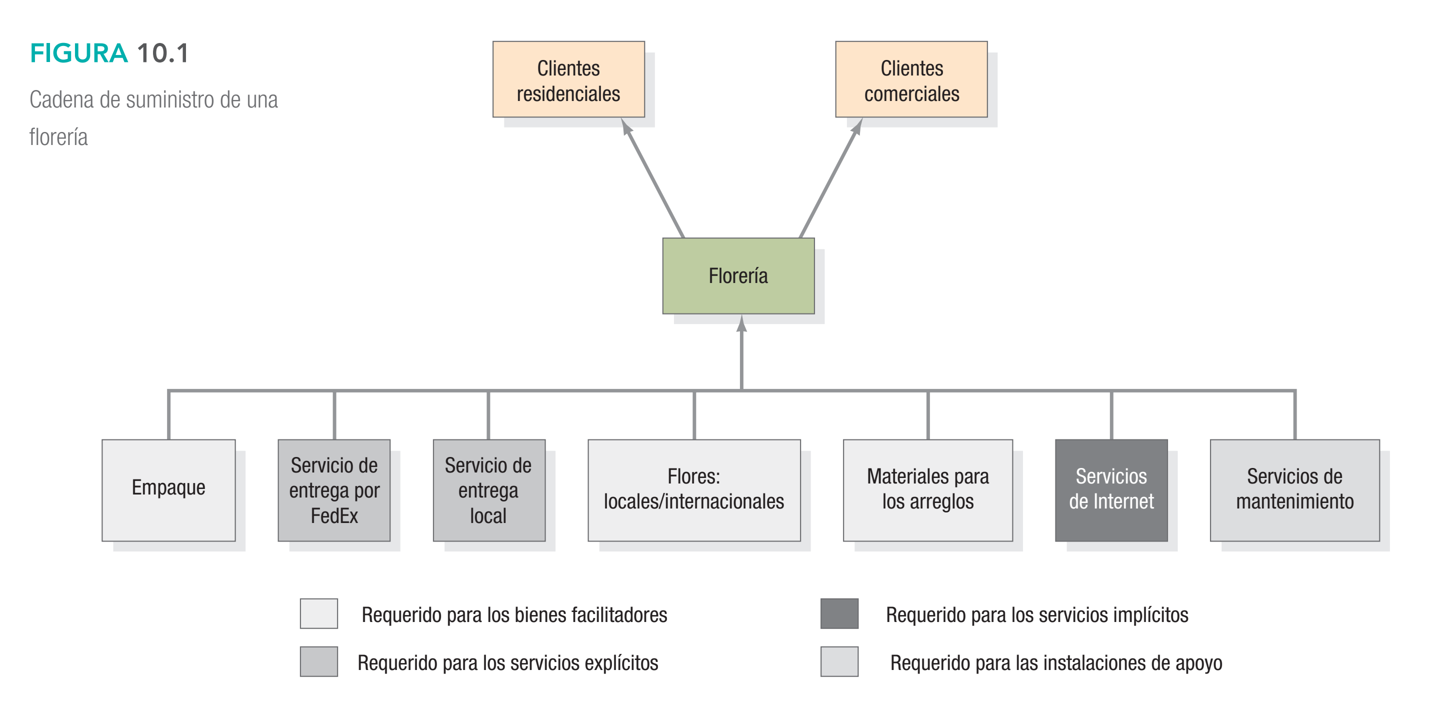
- *Instalaciones de apoyo:* establecimientos de venta al detalle, un centro de reparto, computadoras, terminales punto de venta y empleados.
- *Bienes facilitadores:* flores que se adquieren de proveedores globales, lo mismo que los materiales para los arreglos, como las macetas, cestas, tarjetas de saludos y materiales de empaque.
- *Servicios explícitos:* arreglar las flores de acuerdo con el pedido del cliente y entregar el arreglo según lo especificó el cliente.
- *Servicios implícitos:* comodidad, que se facilita por la localización de los establecimientos de venta al detalle, y la oportunidad de levantar pedidos por medio de Internet o el número gratuito, y las impresiones psicológicas que produce el personal amable, atento y servicial.

La cadena de suministro debe apoyar el paquete de servicios de Flowers-on-Demand. La figura 10.1 ilustra una cadena de suministro simplificada de la florería, que muestra cómo los proveedores apoyan varios elementos del paquete de servicio. Cada uno de los proveedores, por su-

[2]La florería representada es real; sin embargo, se ha cambiado el nombre.

FIGURA 10.1

Cadena de suministro de una florería



puesto, tiene su propia cadena de suministro (que no se muestra). Por ejemplo, el proveedor de los materiales para los arreglos puede comprar las cestas a un proveedor y las macetas a otro. Los proveedores de la cadena de suministro de la florería desempeñan una función integral en su capacidad para cumplir sus prioridades competitivas en el paquete de servicios, como calidad superior, rapidez en la entrega y personalización.

La práctica administrativa 10.1 muestra cómo 7-Eleven Japón rediseñó su cadena de suministro para adquirir una ventaja competitiva en un ambiente de servicios dinámico.

MANUFACTURA

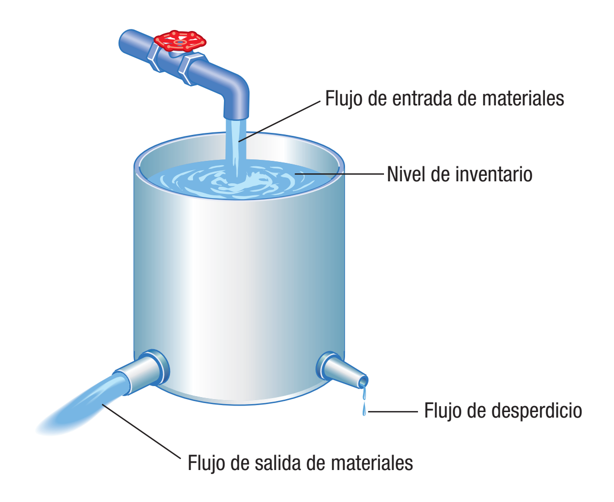
Un propósito fundamental del diseño de la cadena de suministro para los fabricantes es controlar el inventario mediante la administración de los flujos de materiales. El fabricante típico gasta más de 60% de sus ingresos totales provenientes de las ventas en la compra de servicios y materiales, mientras que el proveedor típico de servicios gasta sólo entre 30 y 40%. Debido a que los materiales representan un componente muy grande de los ingresos provenientes de las ventas, los fabricantes pueden obtener utilidades considerables con una pequeña reducción en el costo de los materiales, lo que convierte a la administración de la cadena de suministro en un arma competitiva fundamental.

inventario
Acumulación de materiales que se utiliza para satisfacer la demanda de los clientes o apoyar la producción de bienes o servicios.

El **inventario** es una provisión de materiales que se utiliza para satisfacer la demanda de los clientes o apoyar la producción de bienes o servicios. La figura 10.2 ilustra el proceso de creación de los inventarios, presentando como analogía un depósito de agua. El flujo que llega al depósito eleva el nivel del agua. El flujo entrante de agua representa los insumos de materiales, como acero,

FIGURA 10.2

Creación de inventario



PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 10.1 EXCELENCIA DE LA CADENA DE SUMINISTRO EN 7-ELEVEN JAPÓN

Seven-Eleven Japón (SEJ) es una cadena de tiendas de conveniencia, valuada en 21,000 millones de dólares, con índices bajos de desabasto, inventarios reducidos y un margen bruto de utilidad de 30%. Se dice que SEJ se mantiene en plena forma a pesar de que todos los días debe dar servicio a 9,000 establecimientos de venta al detalle con su cadena de suministro. Desde que SEJ empezó a operar a principios de la década de 1970, su fundador Toshifumi Suzuki mejoró los procesos de SEJ para satisfacer mejor la demanda de los clientes en cuanto a comodidad, calidad y servicio. Estas mejoras implicaron el rediseño de la cadena de suministro para responder a los cambios acelerados en la demanda general, y no simplemente para centrarse en las entregas rápidas o baratas. Sus sistemas de información en tiempo real detectan cambios en las preferencias de la clientela y dan seguimiento a los datos sobre ventas y demografía de los consumidores en cada tienda. Los pedidos se procesan electrónicamente en menos de siete minutos y se envían a 230 centros de distribución que trabajan en exclusiva para SEJ. Si un tipo particular de *bento* (una caja de comida para llevar) se agota al mediodía, las existencias adicionales llegan a la tienda en las primeras horas de la tarde. Si está lloviendo y no se prevé una gran demanda de bentos, las entregas se reducen. Sin embargo, el sistema de información recuerda a los operadores que pongan los paraguas de oferta al lado de la caja registradora. Esta capacidad de respuesta a las necesidades de los clientes es posible gracias a un sistema avanzado de recopilación de datos en el punto de venta y un sistema electrónico de pedidos que vincula a cada establecimiento con un área central de distribución.

Debido a que los clientes atribuyen una gran importancia a la frescura, la compañía realiza múltiples entregas todos los días. Las tiendas reciben cuatro lotes de inventario fresco cada día y los empleados reconfiguran los anaqueles de la tienda por lo menos tres veces al día para atender a diferentes segmentos de clientes y tipos de demanda a diferentes horas del día. SEJ programa las entregas en cada tienda dentro de un margen de 10 minutos. Los conductores de los camiones llevan tarjetas con códigos de barras que se escanean en las computadoras de la tienda cuando llegan con una entrega. Si un camión llega con más de 30 minutos de retraso, el transportista paga una multa igual al margen bruto de los productos que lleva a la tienda. El sistema de información lleva el control del desempeño de los conductores. Si un conductor siempre llega tarde, los gerentes tendrán que revisar esa ruta en particular y posiblemente agreguen otro camión para aligerar la carga.

SEJ no podría tener este desempeño si dependiera exclusivamente de los camiones para su logística. Las calles de las ciudades y las autopistas de Japón están muy congestionadas; los camiones pueden demorarse a causa de los embotellamientos de tránsito. Para resolver este problema, los tipos de vehículos usados se ampliaron, y ahora no sólo se usan camiones, sino también motocicletas, barcos e incluso helicópteros. Estos diversos medios de transporte proporcionan un nivel agregado de agilidad a la cadena de suministro. Por ejemplo, menos de 6 horas después del terremoto de Kobe en 1995, cuando los camiones que transportaban la ayuda avanzaban a vuelta de rueda por las autopistas, a menos de 4 kilómetros por hora, SEJ envió siete helicópteros y 125 motocicletas para entregar 64,000 bolas de arroz a la ciudad. La agilidad lograda para responder de inmediato a los cambios ha producido una cadena de suministro que es la envidia de los competidores de SEJ.

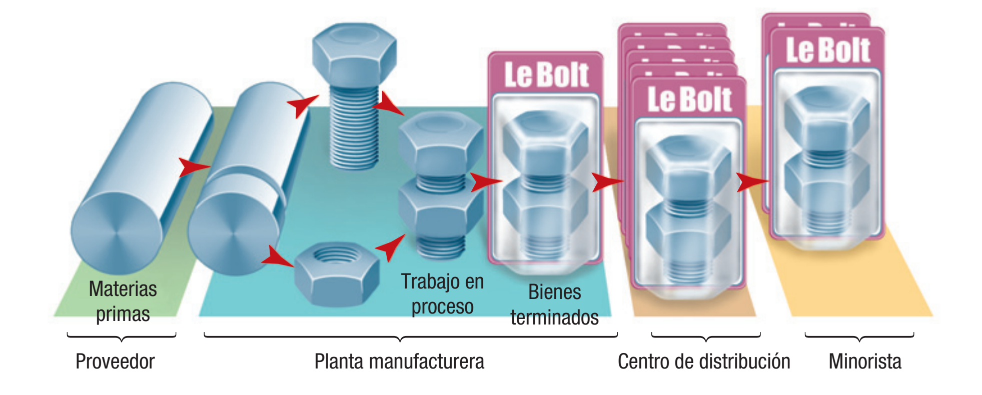


El sistema perfectamente afinado de la cadena de suministro de Seven-Eleven Japón utiliza datos recopilados en el punto de venta para detectar minuto a minuto los cambios en las preferencias de los clientes en cada una de sus miles de tiendas. Todos los días se realizan múltiples entregas a las tiendas en vehículos que varían entre camiones, motocicletas, barcos y incluso helicópteros, lo que se requiera para avanzar en el tránsito de las bulliciosas calles de Japón.

Fuentes: "Seven-Eleven: Over the Counter E-Commerce", *The Economist,* 27 de marzo de 2001; "Demand Chain Excellence: A Tale of Two Retailers", *Supply Chain Management Review,* 1 de marzo de 2001, p. 40; Hau L. Lee, "The Triple-A Supply Chain", *Harvard Business Review,* octubre de 2004, pp. 102–112.

partes componentes, artículos de oficina o un producto terminado. El nivel del agua representa la cantidad de inventario que se mantiene en una planta, instalación de servicio, almacén o centro de distribución detallista. El flujo de agua que sale del depósito hace que descienda el nivel del agua dentro de dicho depósito y representa la demanda de materiales del inventario, como los pedidos de clientes que quieren una bicicleta Huffy, o las necesidades de artículos como jabón, alimentos o muebles. Otro posible flujo de salida es el del desperdicio, que también reduce el nivel del inventario utilizable. En conjunto, los regímenes de flujo de entrada y salida determinan el nivel del inventario. Los inventarios se elevan cuando el flujo de materiales de entrada al depósito es mayor que el flujo de salida; y descienden cuando el flujo de salida es mayor que el de entrada. La figura 10.2 también muestra con claridad por qué las empresas utilizan programas Six Sigma y la administración de la calidad total (TQM) para reducir los materiales defectuosos: cuanto mayor sea el flujo de desperdicio, tanto mayor será el flujo de entrada de materiales requerido para alcanzar un nivel de producción dado.

FIGURA 10.3
Inventario en puntos sucesivos de aprovisionamiento



materias primas (RM)
Inventarios indispensables para la producción de los bienes o servicios.

trabajo en proceso (WIP)
Consta de elementos, como componentes o ensamblajes, necesarios para producir un producto final en una empresa manufacturera.

bienes terminados (FG)
En plantas manufactureras, almacenes y establecimientos detallistas son los artículos que se venden a los clientes de la empresa.

Los inventarios existen en tres categorías agregadas, que resultan útiles para propósitos de contabilidad. Los de **materias primas (RM)** (del inglés *raw materials*) son inventarios indispensables para la producción de los bienes o servicios. Se considera que esos inventarios son insumos para los procesos de transformación de la empresa. El **trabajo en proceso (WIP)** (del inglés *work-in-process*) consta de elementos, como componentes o ensamblajes, necesarios para producir un producto final en una empresa manufacturera. El WIP también se presenta en algunas operaciones de servicio, como los talleres de reparación, restaurantes, centros de procesamiento de cheques y servicios de entrega de paquetes. Los **bienes terminados (FG)** (del inglés *finished goods*) en plantas manufactureras, almacenes y establecimientos detallistas son los artículos que se venden a los clientes de la empresa. Los bienes terminados de una empresa pueden ser, de hecho, las materias primas de otra.

La figura 10.3 muestra cómo es posible tener inventarios en diferentes formas y en diversos puntos de abastecimiento. En este ejemplo, tanto el proveedor como el fabricante tienen materias primas, es decir, los bienes terminados del proveedor. Las materias primas pasan por uno o varios procesos en la planta que las transforman en diversos niveles de inventario WIP. El procesamiento final de este inventario produce un inventario de bienes terminados. Los bienes terminados pueden almacenarse en la planta, en el centro de distribución (que puede ser un almacén propiedad del fabricante o del comerciante detallista) y en locales destinados a la venta al detalle.

La cadena de suministro de una empresa manufacturera puede ser complicada, como se ilustra en la figura 10.4. Sin embargo, la cadena de suministro que ahí se representa está muy simplificada, pues muchas compañías tienen en realidad cientos o incluso miles de proveedores. En este ejemplo, la empresa es propietaria de sus propios servicios de distribución y transporte. No obstante, las empresas que fabrican productos de acuerdo con las especificaciones del cliente no suelen tener centros de distribución como parte de sus cadenas de suministro. Esas empresas envían a menudo los productos directamente a sus clientes. Con frecuencia, se identifica a los proveedores según la posición que ocupan en la cadena de suministro. En este caso, los proveedores de nivel 1 proporcionan materiales o servicios que la empresa utiliza directamente; los proveedores de nivel 2 abastecen a los proveedores de nivel 1, y así sucesivamente.

El valor de la administración de la cadena de suministro se hace evidente cuando se reconoce la complejidad de dichas cadenas. Como se mostró con anterioridad, el flujo de materiales determina los niveles de inventario. El desempeño de numerosos proveedores y del proceso de relaciones con los proveedores de la empresa determina el flujo entrante de materiales. El desempeño de los procesos de surtido de pedidos y de relaciones con los clientes de la empresa determina el flujo de salida de los productos.

> MEDIDAS DEL DESEMPEÑO DE LA CADENA DE SUMINISTRO <

En esta sección, se definen en primer término las medidas típicas del inventario que se utilizan para monitorear el desempeño de la cadena de suministro. A continuación, se presentan algunas medidas de los procesos. Por último, se relacionan varias de las medidas comúnmente empleadas del desempeño de la cadena de suministro con varias medidas financieras importantes.

MEDIDAS DEL INVENTARIO

Todos los métodos para medir los inventarios comienzan con un recuento físico de unidades, volumen o peso. Sin embargo, las medidas del inventario se registran en tres formas fundamentales: (1) valor promedio del inventario agregado; (2) semanas de aprovisionamiento, y (3) rotación de inventario.

valor promedio del inventario agregado
El valor total de los artículos que mantiene una empresa en su inventario.

El **valor promedio del inventario agregado** es el valor total de los artículos que mantiene una empresa en su inventario. En esta medida del inventario se expresan todos los valores monetarios al costo porque así se pueden sumar después los valores de los elementos individuales en mate-

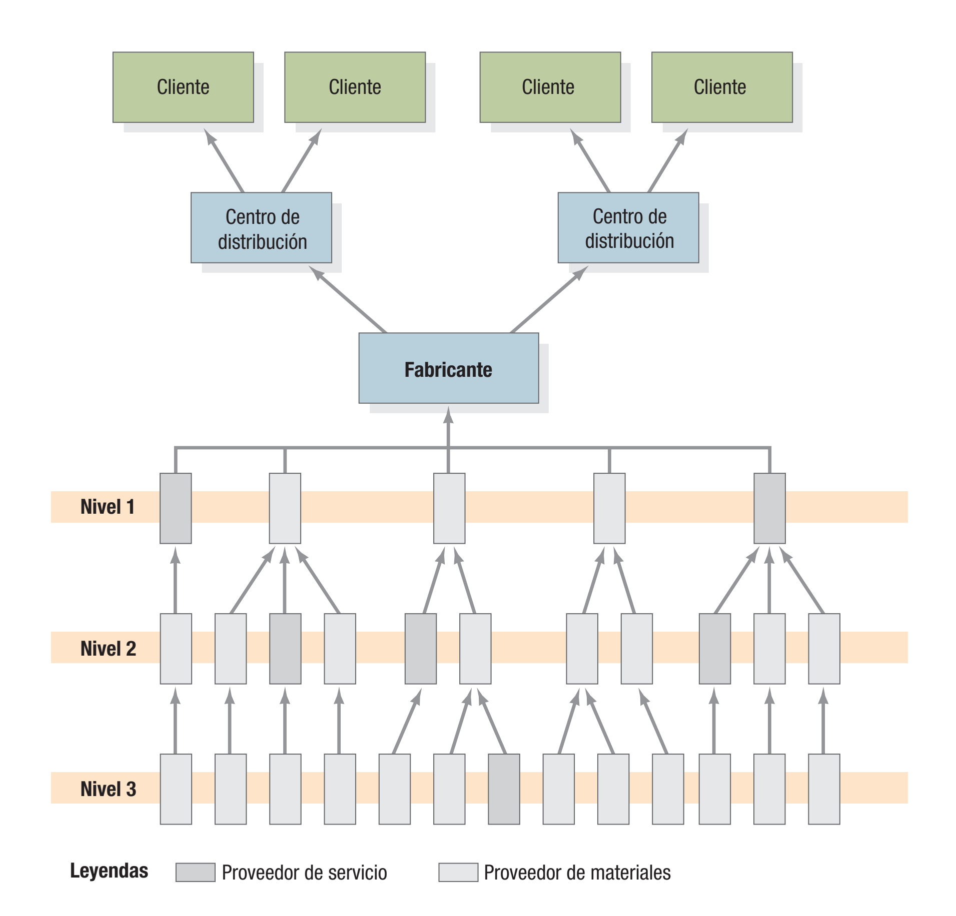


FIGURA 10.4

Cadena de suministro de una empresa manufacturera

rias primas, trabajo en proceso y bienes terminados: el valor monetario final de las ventas sólo tiene sentido en el caso de productos o servicios finales y no puede usarse para todos los elementos del inventario. En realidad se trata de un promedio porque, por lo general, representa la inversión en inventario durante cierto periodo de tiempo. Suponga que un comerciante detallista mantiene los artículos A y B en inventario. Una unidad del artículo A puede valer sólo unos cuantos dólares, mientras que una unidad de artículo B puede valuarse en cientos de dólares por la mano de obra, tecnología y otras operaciones que se realizan durante la fabricación del producto y que imparten a éste un valor agregado. En el caso de un inventario que esté constituido exclusivamente por los artículos A y B, esta medida es:

$$\begin{array}{c}\text{Valor promedio del}\\\text{inventario agregado}\end{array} = \left(\begin{array}{c}\text{Número de unidades del artículo A}\\\text{que típicamente están disponibles}\end{array}\right)\left(\begin{array}{c}\text{Valor de cada unidad}\\\text{del artículo A}\end{array}\right) + \left(\begin{array}{c}\text{Número de unidades del artículo B}\\\text{que típicamente están disponibles}\end{array}\right)\left(\begin{array}{c}\text{Valor de cada unidad}\\\text{del artículo B}\end{array}\right)$$



TUTOR 10.1

El tutor 10.1 en el CD-ROM del estudiante (en inglés) presenta otro ejemplo para practicar el cálculo de las medidas del inventario.

Cuando se suman todos los elementos de un inventario, el valor total indica a los gerentes la cantidad de activos que la compañía tiene inmovilizados en dicho inventario. Las empresas manufactureras acostumbran mantener en inventario cerca de 25% de sus activos totales, en tanto que los mayoristas y detallistas tienen en promedio alrededor de 75%.

Hasta cierto punto, los gerentes pueden decidir si el valor del inventario agregado es demasiado alto o demasiado bajo, ya sea por comparación con datos históricos o de la industria, o basándose en su criterio administrativo. Sin embargo, en una medida mejor del desempeño se tomaría en cuenta la demanda porque indicaría cuánto tiempo residirá el inventario en la empresa. El concepto de las **semanas de aprovisionamiento** es una medida del inventario que se obtiene dividiendo el valor promedio del inventario agregado entre las ventas por semana al costo. (En algunas operaciones de inventario bajo, los días, o incluso las horas, son una unidad de tiempo más conveniente para medir el inventario). La fórmula (expresada en semanas) es:

semanas de aprovisionamiento
Medición del inventario que se obtiene dividiendo el valor promedio del inventario agregado entre las ventas por semana al costo.

$$\text{Semanas de aprovisionamiento} = \frac{\text{Valor promedio del inventario agregado}}{\text{Ventas semanales (al costo)}}$$

Aunque el numerador incluye el valor de todos los elementos que la empresa mantiene en inventario (materias primas, trabajo en proceso y bienes terminados), el denominador representa única-

rotación de inventario
Medida del inventario que se obtiene dividiendo las ventas anuales al costo entre el valor promedio del inventario agregado que se haya mantenido durante el año.

mente los bienes terminados vendidos (al costo, no al precio de venta resultante después de incluir el margen de ganancia o los descuentos). Este costo se conoce como el *costo de los bienes vendidos*.

La **rotación de inventario** (o *vueltas* del mismo) es una medida del inventario que se obtiene dividiendo las ventas anuales al costo entre el valor promedio del inventario agregado que se haya mantenido durante el año, es decir:

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Ventas anuales (al costo)}}{\text{Valor promedio del inventario agregado}}$$

No es fácil determinar el "mejor" nivel de inventario, ni siquiera cuando éste se expresa como rotación. Un buen punto de partida es hacer estudios de *benchmarking* de las principales empresas de una industria.

EJEMPLO 10.1 Cálculo de medidas de inventario

El valor del inventario promedio de Eagle Machine Company fue de $2 millones el año pasado, y el costo de los bienes vendidos fue de $10 millones. La figura 10.5 muestra el desglose de los inventarios de materias primas, trabajo en proceso y bienes terminados. La mejor rotación de inventario en la industria de la compañía es de seis vueltas al año. Si esa compañía trabaja 52 semanas al año, ¿cuántas semanas de aprovisionamiento mantuvo en inventario? ¿Cuál fue la rotación de inventario? ¿Qué debe hacer la compañía?

FIGURA 10.5
Cálculo de las medidas de inventario con el *solver* de estimación de inventarios

Costo de los bienes vendidos	$10,000,000
Semanas de operación	52

	Número de elemento	Nivel promedio	Valor unitario	Valor total
Materias primas	1	1,400	$50.00	$70,000
	2	1,000	$32.00	$32,000
	3	400	$60.00	$24,000
	4	2,400	$10.00	$24,000
	5	800	$15.00	$12,000
Trabajo en proceso	6	320	$700.00	$224,000
	7	160	$900.00	$144,000
	8	280	$750.00	$210,000
	9	240	$800.00	$192,000
	10	400	$1,000.00	$400,000
Bienes terminados	11	60	$2,000.00	$120,000
	12	40	$3,500.00	$140,000
	13	50	$2,800.00	$140,000
	14	20	$5,000.00	$100,000
	15	40	$4,200.00	$168,000
Total				$2,000,000

Promedio de ventas semanales al costo	$192,308
Semanas de aprovisionamiento	10.4
Rotación de inventario	5.0

SOLUCIÓN

El valor promedio del inventario agregado de $2 millones se traduce en 10.4 semanas de aprovisionamiento y cinco vueltas al año, que se calculan como sigue:

$$\text{Semanas de aprovisionamiento} = \frac{\$2 \text{ millones}}{(\$10 \text{ millones})/(52 \text{ semanas})} = 10.4 \text{ semanas}$$

$$\text{Vueltas de inventario} = \frac{\$10 \text{ millones}}{\$2 \text{ millones}} = 5 \text{ vueltas/año}$$

Punto de decisión El análisis indica que la gerencia debe mejorar la rotación de inventario en 20%. La gerencia debe mejorar también el proceso de surtido de pedidos para reducir el inventario de bienes terminados. Las operaciones de la cadena de suministro también pueden mejorarse para reducir la necesidad de mantener inventarios grandes de materias primas y trabajo en proceso. Se necesitará una reducción del inventario de aproximadamente 16% para al-

canzar el objetivo de seis vueltas al año. Sin embargo, los inventarios no tendrían que reducirse tanto si las ventas se incrementaran. Si el departamento de ventas se fija como objetivo un aumento en las ventas de 8% ($10.8 millones), los inventarios sólo tendrán que reducirse en 10% ($1.8 millones) para obtener las seis vueltas al año. La gerencia puede realizar ahora un análisis de sensibilidad para ver el efecto que las reducciones en el inventario de elementos específicos o los aumentos en las ventas anuales producen en las semanas de aprovisionamiento o las vueltas del inventario.

MEDIDAS DE LOS PROCESOS

Tres procesos principales relacionados con las cadenas de suministro son: relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores. Es importante monitorear el desempeño de estos procesos internos, así como la cadena de suministro en su totalidad. Para monitorear el desempeño, los gerentes de la cadena de suministro miden los costos, el tiempo y la calidad. La tabla 10.1 contiene ejemplos de medidas de la operación de los tres procesos. Observe que muchas de las medidas de los procesos internos también miden el desempeño de la cadena de suministro porque los procesos internos tienen puntos de contacto tanto con los proveedores como con los clientes. Por ejemplo, el tiempo que se necesita para surtir un pedido o el porcentaje de servicios estropeados y artículos devueltos se refleja en el desempeño de la empresa y en sus proveedores.

Los gerentes recopilan datos periódicamente sobre estas medidas y les dan seguimiento para advertir los cambios en nivel o dirección. Los gráficos de control estadístico de los procesos se usan para determinar si dichos cambios son significativos en términos estadísticos.

VÍNCULOS CON LAS MEDIDAS FINANCIERAS

La forma como se administra la cadena de suministro tiene un enorme impacto financiero en la empresa. El inventario es una inversión porque se necesita para utilizarlo en el futuro. Sin embargo, el inventario inmoviliza fondos que podrían usarse de modo más lucrativo en otras operaciones.

Rendimiento de los activos La administración de la cadena de suministros que tiene el propósito de reducir la inversión agregada en inventarios reduce la parte correspondiente a los *activos totales* del balance general de la empresa. Una medida financiera importante es el *rendimiento de los activos (ROA,* del inglés *return on assets),* que es el ingreso neto dividido entre los activos totales. En consecuencia, si se reduce la inversión agregada en inventarios, el ROA aumenta. No obstante, el objetivo debe ser tener la cantidad adecuada de inventario, no la menor cantidad de inversión. El ROA también puede incrementarse si se reducen los costos de operación de la cadena de valor, lo que aumentará los ingresos netos. Las técnicas para reducir los costos de inventario, transporte y operación que se relacionan con la utilización y programación de los recursos se explican en los capítulos siguientes.

Capital de trabajo Las semanas de inventario y la rotación del inventario se reflejan en otra medida financiera, el *capital de trabajo,* que es el dinero utilizado para financiar las operaciones en curso. Si disminuyen las semanas de inventario o aumenta la rotación de éste, se reduce el capital

TABLA 10.1 Mediciones de los procesos de la cadena de suministro

Relaciones con los clientes	Surtido de pedidos	Relaciones con los proveedores
• Porcentaje de pedidos tomados con precisión • Tiempo para completar el proceso de colocación de pedidos • Satisfacción de los clientes con el proceso de colocación de pedidos	• Porcentaje de pedidos incompletos enviados • Porcentaje de pedidos enviados puntualmente • Tiempo para surtir el pedido • Porcentaje de servicios estropeados o artículos devueltos • Costo para producir el servicio o artículo • Satisfacción de los clientes con el proceso de surtido de pedidos • Niveles de inventario de trabajo en proceso y bienes terminados	• Porcentaje de entregas puntuales de los proveedores • Tiempos de entrega de los proveedores • Porcentaje de defectos en servicios y materiales comprados • Costo de los servicios y materiales comprados • Niveles de inventarios de suministros y componentes comprados

de trabajo necesario para financiar los inventarios. Las reducciones en el capital de trabajo pueden lograrse si se mejoran los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedido o relaciones con los proveedores. Por ejemplo, si se reducen los tiempos de entrega de los proveedores, esto tiene el efecto de reducir las semanas de aprovisionamiento y aumentar la rotación del inventario: es más fácil igualar los flujos de entrada y salida de materiales porque se pueden usar pronósticos de demanda más confiables y a más corto plazo. Asimismo, las mejoras en las otras medidas de la tabla 10.1 pueden dar lugar a mejoras en el capital de trabajo.

Costo de los bienes vendidos La capacidad de comprar materiales a mejor precio y procesarlos o transformarlos de manera más eficiente mejora la medida del *costo de los bienes vendidos* de una empresa y, en última instancia, su *ingreso neto*. Estas mejoras también producen efectos en el *margen de contribución*, que es la diferencia entre el precio y los costos variables para producir un bien o servicio. La reducción de los costos de producción, materiales y mala calidad aumenta el margen de contribución, lo que permite obtener mayores utilidades. Los márgenes de contribución a menudo se usan como base para tomar las decisiones relativas al portafolio de servicios o productos que la empresa ofrece.

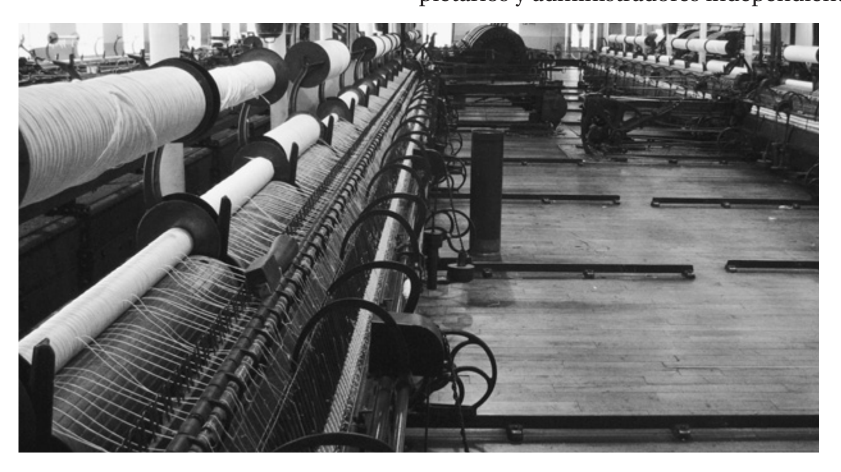
Ingresos totales Las medidas del desempeño de la cadena de suministro que se relacionan con el tiempo también tienen repercusiones financieras. Muchos proveedores de servicios y fabricantes miden el porcentaje de entregas a tiempo de sus servicios o productos a sus clientes, así como de los servicios y materiales de sus proveedores. Al aumentar el porcentaje de entregas a tiempo a los clientes se incrementan los *ingresos totales* porque los clientes satisfechos compran más servicios y productos a la empresa. Asimismo, cuando aumenta el porcentaje de entregas a tiempo de los proveedores tiene el efecto de reducir los costos de inventarios, lo que tiene implicaciones en el costo de los bienes vendidos y los márgenes de contribución.

Flujo de efectivo Internet pone de relieve otra medida financiera relacionada con el tiempo: *efectivo a efectivo* es el tiempo que transcurre entre el momento en que se pagan los servicios y materiales necesarios para producir un producto o servicio y el momento en que se recibe el pago por éstos. Cuanto menos tiempo transcurra, tanto mejor será la posición del *flujo de efectivo* de la empresa porque necesitará menos capital de trabajo. La empresa puede usar los fondos liberados para otros proyectos o inversiones. Cuando se aplica reingeniería al proceso de colocación de pedidos para que el pago del servicio o producto se efectúe en el momento en que se coloca el pedido, se puede reducir la demora. En contraste, cuando se factura al cliente después de haber prestado el servicio o después de haber enviado el pedido, aumenta la necesidad de contar con capital de trabajo. Lo mejor es tener una situación negativa de efectivo a efectivo, la cual es posible cuando el cliente paga el servicio o producto antes de que la empresa tenga que pagar los recursos y materiales necesarios para producirlo. En ese caso, la empresa debe tener inventarios del proveedor a consignación, lo que le permite pagar los materiales hasta que los utiliza. Dell, empresa de la que se habló en la introducción de este capítulo, es un excelente ejemplo de una empresa que tiene una situación negativa de efectivo a efectivo.

> DINÁMICA DE LA CADENA DE SUMINISTRO <

La dinámica de la cadena de suministro puede causar estragos en las medidas del desempeño de la cadena de suministro. Cada empresa que participa en una cadena de suministro depende de otras para obtener los materiales, servicios e información que requiere para atender a su cliente externo inmediato dentro de la cadena. En virtud de que normalmente las compañías tienen propietarios y administradores independientes, las actividades de los miembros localizados en puntos "corriente abajo" de la cadena de suministro (colocados más cerca del usuario final del producto o servicio) pueden afectar las operaciones de los miembros colocados "corriente arriba". La razón es que los miembros ubicados corriente arriba de una cadena de suministro tienen que reaccionar ante las exigencias que les imponen los miembros corriente abajo de la cadena. Estas exigencias son una función de las políticas que estas empresas tienen para reaprovisionar sus inventarios, los niveles reales de esos inventarios, la demanda de sus clientes y la precisión de la información con la que tienen que trabajar. Al examinar los patrones de pedido de las empresas que intervienen en una cadena de suministro, con frecuencia se aprecia que la variabilidad en las cantidades pedidas aumenta conforme se avanza corriente arriba. Este aumento en

El efecto de látigo puede causar trastornos muy costosos a los miembros que se encuentran corriente arriba de la cadena suministro a medida que la variación de los pedidos aumenta. Los procesos de fabricación de textiles son vulnerables al efecto de látigo.



la variabilidad se conoce como **efecto de látigo,** que recibe su nombre de la acción de un látigo: el mando del látigo inicia la acción; sin embargo, la punta del látigo experimenta la acción más turbulenta. El cambio más leve en la demanda de los clientes tiene repercusiones en toda la cadena, y cada miembro recibe más variabilidad en las demandas del miembro que se encuentra inmediatamente corriente abajo.

efecto de látigo
El fenómeno que se produce en las cadenas de suministro, por el cual los patrones de pedido experimentan cada vez más variabilidad a medida que se avanza corriente arriba en la cadena.

La figura 10.6 muestra el efecto de látigo en una cadena de suministro de pañuelos faciales desechables. Los pedidos del comerciante detallista al fabricante muestran más variabilidad que la demanda real de pañuelos desechables por parte de los clientes. Los pedidos del fabricante al proveedor del empaque tienen más variabilidad que los pedidos del comerciante detallista. Por último, los pedidos del proveedor del empaque al proveedor de cartón tienen la mayor variabilidad. Debido a que los patrones de oferta no coinciden con los patrones de demanda, los inventarios se acumulan en algunas empresas y otras tienen déficit. Las empresas que tienen demasiado inventario dejan de hacer pedidos y las que tienen faltantes colocan pedidos urgentes. Los responsables son los cambios inesperados en la demanda o la oferta, provocados por una serie de causas.

CAUSAS EXTERNAS

Las compañías tienen el menor grado de control sobre sus clientes externos y proveedores, que pueden ocasionar trastornos periódicos. Entre los trastornos externos más típicos figuran los siguientes:

- *Cambios en el volumen.* Los clientes pueden modificar la cantidad de productos o servicios que habían solicitado para una fecha específica, o pedir inesperadamente una cantidad mayor de un producto o servicio estándar. Si el mercado requiere tiempos de entrega cortos, la empresa necesita que sus proveedores reaccionen con rapidez. Por ejemplo, en un día inusitadamente caluroso, una empresa de suministro eléctrico puede requerir el apoyo inmediato de la energía suministrada por otra compañía similar, a fin de evitar una baja de voltaje en su propia región.
- *Cambios en la mezcla de servicios y productos*. Los clientes pueden modificar la mezcla de artículos en alguno de sus pedidos y provocar un efecto perturbador en toda la cadena de suministro. Por ejemplo, una importante cadena de tiendas de aparatos electrodomésticos puede cambiar la mezcla de lavadoras en sus pedidos y solicitar que en lugar de que le surtan 60% de unidades de la marca Whirlpool y 40% de la marca Kitchen Aid, le entreguen 40% de lavadoras Whirlpool y 60% de Kitchen Aid. Esta decisión altera el programa de producción de la planta Whirlpool, la cual fabrica ambas marcas, provocando desequilibrios en sus inventarios. Además, la compañía que fabrica las placas de especificaciones para esas lavadoras tendrá que cambiar sus programas, lo cual también afectará a sus proveedores.
- *Entregas tardías*. La entrega tardía de materiales o los retrasos en el suministro de servicios esenciales suelen obligar a una compañía a cambiar su programa, de modo que en lugar de fabricar un modelo de determinado producto, elabore otro. Por lo general, esto provoca trastornos en los programas de las empresas que suministran artículos para modelos específicos. Por ejemplo, la planta Whirlpool puede descubrir que el proveedor de determinados componentes de su lavadora modelo A no le suministró a tiempo dichos componentes. Para no tener que paralizar su línea de ensamblaje, lo cual resultaría muy costoso, Whirlpool puede decidirse por

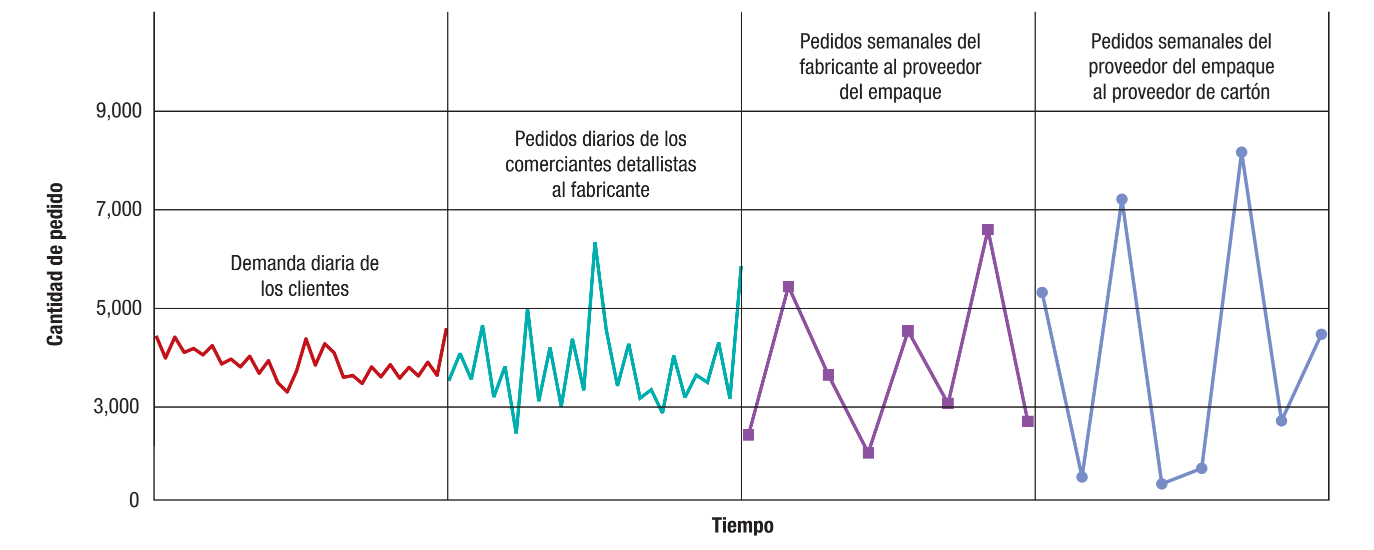


FIGURA 10.6 | Dinámica de la cadena de suministro de pañuelos faciales desechables

modificar sus planes y producir el modelo B. Esto ocasionará un aumento súbito en la demanda para los proveedores de partes específicas destinadas al modelo B.

- *Embargues incompletos*. Los proveedores que envían embarques incompletos lo hacen así porque se presentan perturbaciones en sus respectivas plantas. Los efectos de esos embarques incompletos son similares a los de las remesas tardías, a menos que su contenido sea suficiente para que la empresa funcione hasta que llegue el siguiente embarque.

CAUSAS INTERNAS

Una frase famosa, tomada de la historieta cómica del personaje Pogo, es: "¡Ya vimos quién es el enemigo y resulta que somos nosotros mismos!" Desgraciadamente, esto es cierto en el caso de muchas empresas cuando se enfrentan a trastornos en las cadenas de suministro. Las operaciones de la propia compañía suelen ser la causa de esas dificultades, porque llegan a convertirse en fuente de una dinámica constante dentro de la cadena de suministro. Entre los trastornos internos característicos se encuentran los siguientes:

- *Casos de escasez provocados por causas internas*. Es probable que se produzca escasez de las partes manufacturadas por una compañía debido a averías en una máquina o por la falta de experiencia de sus trabajadores. Esa escasez puede dar lugar a un cambio en el programa de producción de la empresa, el cual afectará a los proveedores. Una huelga declarada en una planta manufacturera, por ejemplo, reduce la necesidad de utilizar los servicios de transportistas. La escasez de mano de obra debido a un alto nivel de rotación tiene un efecto semejante.
- *Cambios de ingeniería*. Las modificaciones en el diseño de los productos o servicios pueden tener un impacto directo en los proveedores. Por ejemplo, el cambio de los conductores utilizados para la transmisión de la televisión por cable para introducir la tecnología de fibra óptica incrementa los beneficios para los clientes de la compañía de televisión por cable, pero afecta la demanda de cables. Del mismo modo, cuando se reduce la complejidad de una unidad del tablero de instrumentos, esa modificación puede no ser notable (funcionalmente) para quienes compran el automóvil, pero altera la demanda de las partes componentes de dichos tableros, que se mandan fabricar externamente.
- *Lanzamiento de nuevos servicios o productos*. Los nuevos productos o servicios siempre afectan la cadena de suministro. Cada empresa decide cuántas novedades habrá de introducir y en qué fechas lo hará, con lo cual también introduce una dinámica particular en la cadena de suministro. Incluso es posible que los nuevos productos o servicios requieran una nueva cadena de suministro, o la adición de nuevos miembros a una cadena de suministro ya existente. Por ejemplo, la introducción de un nuevo servicio de camiones frigoríficos tendrá impacto sobre los proveedores de dichos vehículos y sobre los proveedores de los artículos requeridos para el mantenimiento del nuevo servicio.
- *Promociones de productos o servicios*. Una práctica común de las empresas que producen productos o servicios estandarizados consiste en ofrecer descuentos en sus precios a fin de promover las ventas. Como resultado de esta práctica se crea un alza momentánea de la demanda, la cual repercute en toda la cadena de suministro. Eso fue lo que descubrió Campbell Soup Company, cuando su programa anual de grandes descuentos en los precios indujo a los clientes a comprar enormes cantidades de sopa de pollo, lo que generó la necesidad de que su planta de procesamiento de pollo trabajara tiempo extra. La práctica de comprar más de lo que se necesita inmediatamente para aprovechar descuentos en los precios se llama *compra anticipada*.

  Sin embargo, los programas de precios pueden inducir eficiencias en la cadena de suministro si desalientan las actividades que incrementan los costos. Por ejemplo, Campbell inició un *programa estratégico de precios* que ofrece a los clientes incentivos financieros por ordenar con mayor eficiencia; para ello, los clientes deben colocar sus pedidos por medios electrónicos, aceptar entregas directas en la planta o recoger sus pedidos ellos mismos y comprar camiones y palés completos del producto. Los pedidos de los clientes se asignan a niveles de precios basados en el costo en que Campbell incurre para atenderlos. Campbell comparte los ahorros con sus clientes, creando así una situación en la que todos salen ganando.
- *Errores de información*. Los errores cometidos en los pronósticos de demanda pueden inducir a una empresa a hacer pedidos excesivos, o insuficientes, de materiales y servicios. Además, los errores de pronóstico suelen dar lugar a pedidos apresurados que obligan a los proveedores a reaccionar con mayor rapidez para evitar situaciones de escasez en la cadena de suministro. Además, los errores en el recuento físico de los artículos almacenados como inventario ocasionan escasez (compras de pánico) o exceso de inventarios (las compras se vuelven más lentas). Finalmente, los nexos de comunicación entre compradores y proveedores pueden fallar. Por ejemplo, la inexactitud en el registro de las cantidades de un pedido y los retrasos en los flujos de información afectan la dinámica de la cadena de suministro.

  Muchos trastornos se deben simplemente a la coordinación deficiente en la cadena de suministro porque en ella intervienen muchas empresas y operaciones diferentes. Por tanto, es poco realista suponer que es posible eliminar todos los trastornos. No obstante, el reto que esto

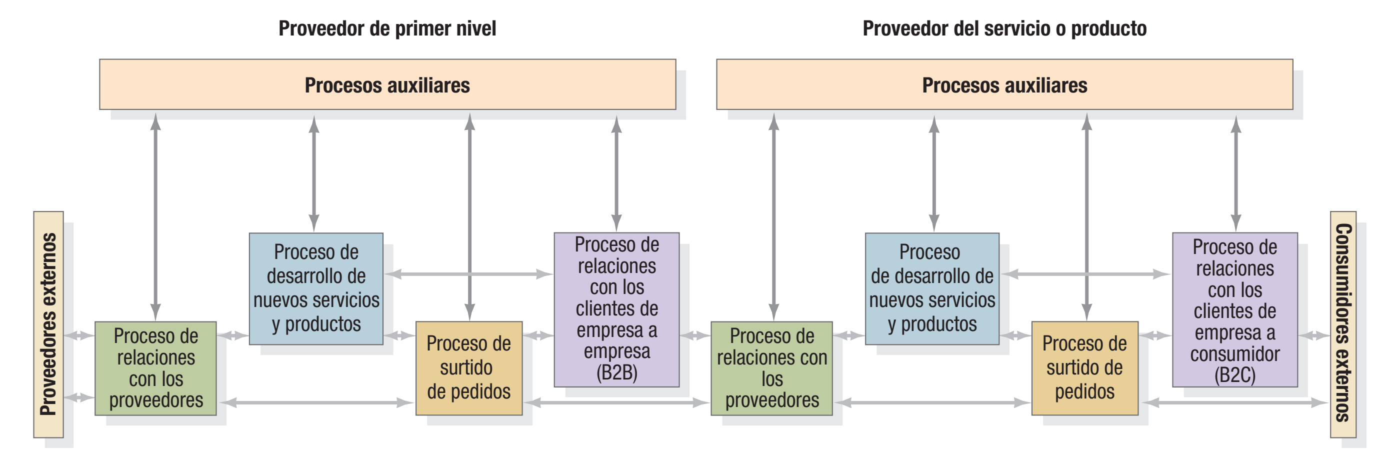


FIGURA 10.7 | Vínculos con la cadena de valor externa

implica para los administradores de las cadenas de suministro radica en suprimir el mayor número posible de trastornos y minimizar el impacto de aquellos trastornos que se pueden eliminar.

CADENAS DE SUMINISTRO INTEGRADAS

Un punto de partida para minimizar los trastornos en las cadenas de suministro es crear una cadena con un alto grado de integración funcional y organizacional. Dicha integración no se consigue de la noche a la mañana; debe incluir vínculos entre la empresa y sus proveedores y clientes, como se ilustra en la figura 10.7. El proceso de relaciones con los proveedores, que incluye compras; el de surtido de pedidos, que incluye producción y distribución; y el de relaciones con los clientes, así como sus vínculos internos y externos, se integran en la rutina de negocios normal. La empresa adopta una orientación hacia el cliente. Sin embargo, en lugar de simplemente reaccionar a la demanda de los clientes, la empresa se esfuerza por trabajar con ellos para que todos se beneficien de mejores flujos de los servicios y materiales. Asimismo, la empresa debe llegar a comprender cabalmente cómo son las organizaciones, capacidades, fortalezas y debilidades de sus proveedores, e incluirlos desde las primeras etapas en el diseño de los nuevos servicios o productos.

El diseño de una cadena de suministro integrada es complejo. Ya se ha hablado de las decisiones de diseño en el nivel del proceso en las partes 1 y 2 del texto. Es necesario analizar los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores desde la perspectiva de la estructura de los procesos, el mejoramiento de éstos, la distribución física y la capacidad, por ejemplo. Es importante saber que una cadena de suministro integrada proporciona un marco para las decisiones de operación de la empresa. Ahora se expondrán algunas consideraciones adicionales relacionadas con el diseño y administración de los procesos en una cadena de suministro integrada.

> EL PROCESO DE RELACIONES CON LOS CLIENTES <

El proceso de relaciones con los clientes abarca las interacciones entre la empresa y sus clientes corriente abajo en la cadena de suministro. El propósito del proceso de relaciones con los clientes es identificar, atraer y entablar relaciones con los clientes y facilitar la transmisión y seguimiento de los pedidos. Los procesos anidados clave incluyen:

- *Proceso de marketing.* El proceso de marketing se centra en cuestiones como determinar el tipo de clientes que se desea captar, cómo captarlos, qué servicios o productos ofrecer, cómo fijar su precio y cómo administrar las campañas promocionales.
- *Proceso de colocación de pedidos.* El proceso de colocación de pedidos abarca las actividades requeridas para ejecutar una venta, registrar los detalles específicos del pedido, confirmar la aceptación del pedido y dar seguimiento al progreso del pedido hasta completarlo. A menudo, la empresa tiene un equipo de vendedores que visita a los clientes actuales y en perspectiva para estimular las ventas.

COMERCIO ELECTRÓNICO Y EL PROCESO DE MARKETING

El **comercio electrónico *(e-commerce)*** ha tenido un enorme impacto en toda la cadena de suministro. En particular, ha cambiado radicalmente la forma en que las compañías diseñan su proceso

comercio electrónico *(e-commerce)*
La aplicación de tecnología informática y de telecomunicaciones en cualquier parte de la cadena de valor de los procesos comerciales.

de relaciones con los clientes y los procesos anidados de marketing y colocación de pedidos. Esta sección se centrará en dos tecnologías de comercio electrónico que se relacionan con el proceso de marketing: los sistemas de empresa a consumidor y de empresa a empresa.

Sistemas de empresa a consumidor Los sistemas de empresa a consumidor (B2C, del inglés *business-to-consumer),* que permiten a los clientes realizar transacciones comerciales por Internet, son muy comunes. El comercio electrónico B2C ofrece un nuevo canal de distribución a las empresas, y los consumidores pueden evitar las atestadas tiendas de departamentos, con largas filas para pagar y escasez de espacio para estacionarse. Muchas de las ventajas del comercio electrónico fueron explotadas por primera vez por las "empresas electrónicas" de comercio al detalle, como Amazon.com, E*TRADE y Auto-by-tel. Estas tres compañías crearon versiones para Internet de las librerías, casas de corretaje y concesionarias de automóviles tradicionales. Internet está cambiando incluso las operaciones, procesos y estructuras de costos de los comerciantes detallistas tradicionales, y el crecimiento general de su utilización ha sido espectacular. Hoy en día, cualquiera que tenga una conexión a Internet puede abrir una tienda en el ciberespacio.

Muchos de los principales detallistas y compañías de ventas por catálogo han abierto "tiendas" Web con miles de pasillos virtuales y millones de artículos. Este canal permite a los clientes realizar muchas más compras en una hora de las que podrían realizar en persona en una tienda tradicional. El comercio electrónico es especialmente atractivo para productos que el consumidor no tiene que examinar con cuidado o tocar. Internet ofrece una ventaja con productos de marca, prácticos y de más alto valor que la experiencia en la tienda tradicional.

Sistemas de empresa a empresa Sin embargo, el mayor crecimiento se ha producido en los sistemas de comercio electrónico de empresa a empresa (B2B, del inglés *business-to-business),* o comercio entre compañías. De hecho, el comercio electrónico de empresa a empresa deja atrás a las transacciones de empresa a consumidor, ya que el comercio entre empresas representa más de 70% de la economía normal.

Considere a Fruit of the Loom, Inc., un fabricante de ropa que depende de que sus mayoristas envíen los productos a varios clientes detallistas. Fruit of the Loom puso a sus mayoristas en la Web y les dio a cada uno de ellos un sistema computarizado completo que exhibe catálogos llenos de colorido, procesa pedidos electrónicos las 24 horas del día y administra inventarios. Si uno de sus distribuidores se queda sin existencias, el almacén central de la compañía recibe una notificación para enviar la mercancía de reposición directamente al cliente. Sólo se necesitaron unos meses para construir un sistema de comercio electrónico tan integrado. Los clientes detallistas de la empresa sólo necesitan una conexión a Internet y un examinador Web.

COMERCIO ELECTRÓNICO Y EL PROCESO DE COLOCACIÓN DE PEDIDOS

Internet permite a las empresas aplicar reingeniería a su proceso de colocación de pedidos para que éste beneficie tanto al cliente como a la empresa. Por ejemplo, un viajero puede llegar al Hotel Ritz-Carlton en Maui y solicitar una habitación sin haber hecho previamente una reservación. Un empleado del hotel toma la información correspondiente sobre el pedido, incluidas las fechas de estancia, *suite* u otro tipo de habitación solicitada, ocupación doble o sencilla, cama *king size* o camas individuales, habitación de fumar o no fumar y después verifica qué habitaciones (si acaso) están desocupadas. Este método es costoso por el tiempo que tiene que invertir el empleado, en especial en periodos de mucho movimiento, por no mencionar el riesgo de que el hotel no pueda atender al cliente. Por otro lado, el viajero podría visitar el sitio Web del hotel con varias semanas de anticipación, proporcionar la misma información y obtener la confirmación de su reservación. Estas dos versiones del proceso de colocación de pedidos del hotel suponen diferentes cantidades de tiempo de los empleados y ofrecen diferentes niveles de servicio al cliente. Internet proporciona las siguientes ventajas para el proceso de colocación de pedidos de una empresa:

- *Reducción de costos.* El uso de Internet reduce los costos de procesamiento de los pedidos porque permite una mayor participación del cliente. Los clientes pueden seleccionar los servicios o productos que desean y colocar un pedido en la empresa sin tener que hablar con nadie. Este método reduce la necesidad de contar con centros de atención telefónica, que son intensivos en mano de obra y a menudo tardan más tiempo en levantar los pedidos.
- *Aumento en el flujo de ingresos.* La página Web de una empresa puede permitir que los clientes ingresen información sobre su tarjeta de crédito o el número de su orden de compra como parte del proceso de colocación de pedidos. Este método reduce las demoras que a menudo se producen para facturarle al cliente o esperar a que los cheques se envíen por correo.
- *Acceso global.* Otra ventaja que Internet ofrece a las empresas es la oportunidad de aceptar pedidos las 24 horas del día. Las empresas tradicionales, con instalaciones físicas, solamente aceptan pedidos durante el horario normal de trabajo. Las empresas que cuentan con acceso

a Internet pueden reducir el tiempo que se necesita para satisfacer a los clientes, quienes pueden realizar sus compras en cualquier momento. Este acceso da a estas empresas una ventaja competitiva sobre los establecimientos tradicionales.

- *Flexibilidad para la fijación de precios.* Las empresas que anuncian sus servicios y productos en Web pueden cambiar los precios con facilidad, según sea necesario, con lo que evitan el costo y la demora de publicar nuevos catálogos. Los clientes que desean colocar pedidos disponen de los precios vigentes para tomar sus decisiones. Desde la perspectiva de las cadenas de suministro, Dell Inc. usa esta capacidad para controlar la escasez de componentes. Gracias a sus métodos de ventas directas y precios promocionales, Dell puede dirigir a los clientes hacia ciertas configuraciones de computadoras para las que existen amplias existencias.

EL PROCESO DE SURTIDO DE PEDIDOS

El proceso de surtido de pedidos está estrechamente vinculado con el proceso de relaciones con los clientes. En realidad, en muchos casos se llevan a cabo simultáneamente. Por ejemplo, una clienta de una librería tradicional de Barnes & Noble ha pedido, en efecto, un libro, y la librería se lo ha entregado cuando ella va a la caja registradora a pagarlo. Sin embargo, Barnes & Noble también tiene una página Web, donde los procesos de colocación y surtido de pedidos se realizan por separado, pero están relacionados entre sí. Los clientes que compran en la página Web deben aceptar una demora para recibir sus libros, demora que Barnes & Noble trata de minimizar en su cadena de suministro.

En Dell, los procesos de colocación y surtido de pedidos están estrechamente vinculados. Los ocho pasos de su proceso de surtido de pedidos se muestran en la figura 10.8.

1. Los clientes se comunican con Dell y efectúan sus compras en una de tres maneras: sitio Web, voz a voz y cara a cara. Las últimas dos maneras implican contacto humano. Un representante experimentado toma el pedido del cliente, revisa la información y lo registra en el sistema.
2. La información sobre el pedido se transmite al sistema de inventario. Los materiales se reciben de los proveedores y se colocan en los anaqueles del área de manufactura. Dell recibe sólo los materiales que va a usar de inmediato; es decir, los que el cliente ha especificado.
3. Toda la información de la configuración del producto exclusiva del cliente está contenida en el Traveler, que es una hoja que viaja con el sistema solicitado por el cliente a lo largo de todo el proceso de ensamblaje y envío.
4. Cuando se extrae el Traveler, todas las partes internas y componentes requeridos para fabricar el sistema se recogen y colocan en una bolsa, o kit. Este procedimiento se llama *equipamiento.*
5. Un equipo de trabajadores usa el kit para ensamblar y probar inicialmente todo el sistema.
6. A continuación, los sistemas se someten a pruebas exhaustivas usando los procedimientos de diagnóstico de Dell. El hardware y software estándar o personalizados se instalan en la fábrica y se prueban.
7. Los sistemas completos se empacan en cajas junto con la documentación y los manuales. En seguida, se sellan las cajas y se cargan en camiones para enviarlas a los clientes.
8. El sistema se entrega al cliente. El ciclo completo de ensamblaje por pedido tarda sólo unas cuantas horas.

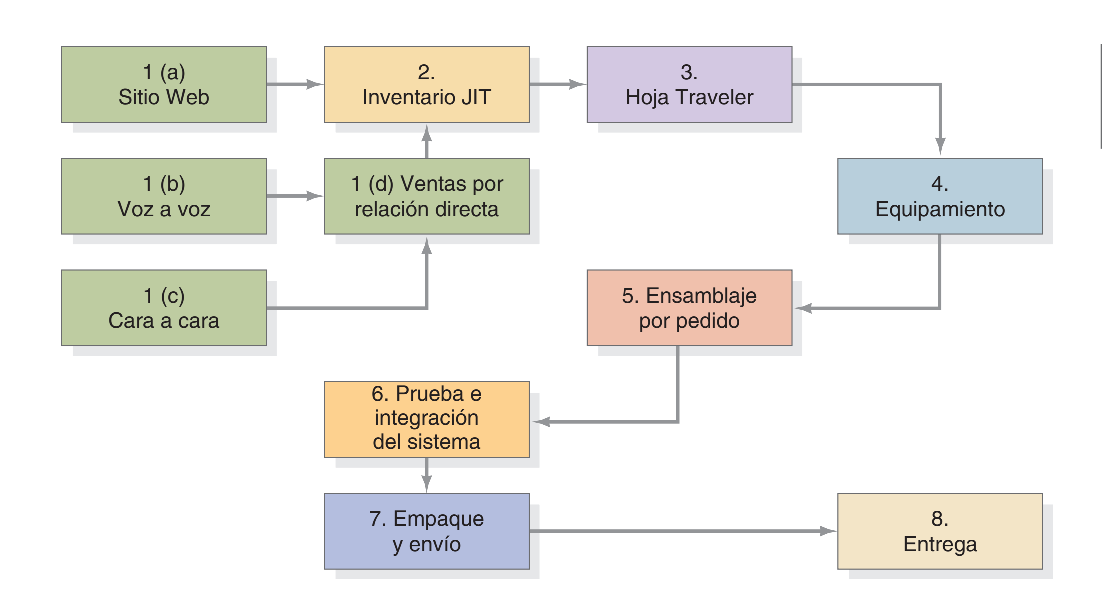


FIGURA 10.8 Proceso de surtido de pedidos de Dell

Dell se esfuerza por suprimir todas las actividades que no agregan valor con la finalidad de aumentar la velocidad de la manufactura y entrega de los pedidos de los clientes, sin perder los altos niveles de calidad y productividad. En ocasiones, este proceso requiere ajustes mayores del proceso de surtido de pedidos. Por ejemplo, Dell instaló robots y equipo automático en su planta de Nashville, que reciben pedidos directos en línea y construyen, prueban y empacan el producto para enviarlo.

El diseño del proceso de surtido de pedidos tiene, sin lugar a duda, consecuencias competitivas. Ya se ha hablado de muchas de las actividades del surtido de pedidos asociadas con la producción de un servicio o producto en los capítulos anteriores. En el resto de esta sección, se explicarán las tácticas y herramientas que pueden ayudar a administrar los procesos de surtido de pedidos que tienen flujos de materiales entre la empresa y sus clientes externos.

COLOCACIÓN DEL INVENTARIO

Una decisión fundamental para la cadena de suministro que afecta el desempeño de los procesos de surtido de pedidos es dónde colocar el inventario de bienes terminados. La colocación de los inventarios puede tener implicaciones estratégicas, como en el caso de las compañías internacionales que localizan *centros de distribución* (DC, del inglés *distribution centers)* en otros países para evitar la competencia local mediante la reducción de los tiempos de entrega al cliente. Sin embargo, el problema para cualquier empresa que produce productos estandarizados reside en decidir dónde colocar el inventario en la cadena de suministro. En un extremo, la empresa podría usar la **colocación centralizada,** que significa mantener todo el inventario de un producto en un solo lugar, como la planta manufacturera o un almacén de la empresa, y enviarlo directamente a cada uno de los clientes. La ventaja provendría de lo que se conoce como **agrupación de inventarios,** que es una reducción en las existencias y el inventario de seguridad debido a la confluencia de demandas inciertas y variables de los clientes. Una demanda más alta de lo esperado por parte de un cliente puede compensarse con una demanda menor que la que se esperaba de otro, de modo que la demanda total permanece más o menos estable. Los métodos para determinar la cantidad del inventario de seguridad se explican en el capítulo 12, “Administración de inventarios”. Sin embargo, una de las desventajas de colocar el inventario en un almacén central es el costo adicional que implica enviar cantidades pequeñas y poco económicas directamente a los clientes a través de distancias largas.

colocación centralizada

Mantener todo el inventario de un producto en un solo lugar, como la planta manufacturera o un almacén de la empresa, y enviarlo directamente a cada uno de los clientes.

agrupación de inventarios

Una reducción en las existencias y el inventario de seguridad debido a la confluencia de demandas variables de los clientes.

colocación hacia delante

Ubicar el inventario más cerca de los clientes, ya sea en un almacén, centro de distribución, comerciante mayorista o detallista.

Otro método consiste en usar la **colocación hacia delante,** que consiste en ubicar el inventario más cerca de los clientes, ya sea en un almacén, centro de distribución (DC), comerciante mayorista o detallista. La colocación hacia delante ofrece dos ventajas en el proceso de surtido de pedidos: tiempos de entrega más rápidos y costos menores de transporte, que logran estimular las ventas. Cuando el inventario se coloca más cerca de los clientes (por ejemplo, en un centro de distribución), el efecto de agrupación de los inventarios se reduce porque los inventarios de seguridad del artículo tienen que incrementarse para atender las demandas inciertas en cada DC, en vez de en un solo lugar. Sin embargo, el tiempo que se requiere para entregar el producto al cliente se reduce. En consecuencia, el servicio al cliente es más rápido, y la empresa puede aprovechar embarques más grandes y menos costosos a los centros de distribución desde la planta manufacturera, a costa de tener inventarios totales más grandes.

INVENTARIOS ADMINISTRADOS POR PROVEEDORES

inventarios administrados por proveedores (VMI)

Una aplicación extrema de la táctica de colocación hacia delante, que implica localizar los inventarios en las instalaciones del cliente.

Una táctica que emplea un caso extremo de colocación hacia delante es la de **inventarios administrados por proveedores (VMI** del inglés, *vendor-managed inventories),* un sistema en el que el proveedor tiene acceso a datos del inventario del cliente y es responsable de mantener el nivel de inventario requerido por el cliente. El inventario se localiza en las instalaciones del cliente y, a menudo, el proveedor conserva la posesión del inventario hasta que el cliente lo utiliza. Compañías como Wal-Mart y Dell aprovechan su posición de mercado para imponer sistemas VMI. Los inventarios administrados por proveedores tienen varios elementos esenciales:

- *Esfuerzo de colaboración.* Para que un sistema VMI tenga éxito, los clientes tienen que estar dispuestos a permitir el acceso del proveedor a sus inventarios. La implicación es que el proveedor asume una función administrativa importante en el manejo del inventario. Por tanto, se requiere un ambiente de confianza y responsabilidad.
- *Ahorros en costos.* Los proveedores y clientes eliminan la necesidad de tener un exceso de inventario gracias a una mejor planificación de las operaciones. VMI reduce los costos porque elimina gastos administrativos y de inventario. Los costos de colocación de pedidos también se reducen.
- *Servicio al cliente.* El proveedor se encuentra con frecuencia en el sitio y entiende mejor las operaciones del cliente, lo que mejora los tiempos de respuesta y reduce el desabasto.
- *Acuerdos por escrito.* Es importante que ambas partes comprendan cabalmente las responsabilidades de cada uno de los socios. Áreas como los procedimientos de facturación, métodos de pronóstico y programas de reabastecimiento deben especificarse con toda claridad. Ade-

más, debe incluirse la responsabilidad por el inventario obsoleto que resulta de las revisiones de los pronósticos y los cambios en la duración de los contratos.

VMI puede usarse por proveedores de servicios y empresas manufactureras. AT&T, Roadway Express, Wal-Mart, Dell, Westinghouse y Bose figuran entre las compañías que utilizan este sistema.

PROGRAMA DE REABASTECIMIENTO CONTINUO

La ejecución de VMI requiere un programa formal para ser eficaz. Existen varios de estos programas. En la práctica administrativa 10.2 se explica un programa utilizado por Campbell Soup Company, que se llama **programa de reabastecimiento continuo (CRP,** del inglés *continuous replenishment program),* donde el proveedor monitorea los niveles de inventario del cliente y reabastece la mercancía según sea necesario. IBM, Heinz Pet Products y Purina se cuentan entre las numerosas compañías que utilizan este método de colocación hacia delante de los inventarios. El CRP contribuye a reducir los inventarios y mejora eficiencia en el almacenamiento y transporte.

programa de reabastecimiento continuo (CRP)
Método de VMI en el que el proveedor monitorea los niveles de inventario del cliente y reabastece la mercancía según sea necesario.

El éxito obtenido con el CRP impulsó la creación de un programa llamado *planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración (CPFR,* del inglés *collaborative planning, forecasting, and replenishment),* que permite al proveedor y al cliente determinar conjuntamente las cantidades de producto que habrán de reabastecerse. En un proceso iterativo, el cliente y el proveedor perfeccionan y coordinan sus pronósticos de la demanda de cada artículo.

IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA

Un requisito importante para la ejecución de los procesos de surtido de pedidos es contar con información precisa sobre la cantidad y localización de los inventarios. Una nueva aplicación de una vieja tecnología presenta algunas ventajas tentadoras. La **identificación por radiofrecuencia (RFID,** del inglés *radio frequency identification)* es un método para identificar elementos mediante el uso de señales de radio provenientes de una etiqueta colocada en un artículo. La etiqueta contiene información sobre el artículo y envía señales a un dispositivo que puede leer la información e incluso escribir nueva información en la etiqueta. Los datos de las etiquetas se transmiten por medios inalámbricos de un lugar a otro a través de redes de códigos electrónicos de productos (EPC, del inglés *electronic product code)* e Internet, con lo que, en teoría, es posible identificar de manera exclusiva cada artículo que produce una compañía y darle seguimiento hasta que la etiqueta se destruye.

identificación por radiofrecuencia (RFID)
Método para identificar elementos mediante el uso de señales de radio provenientes de una etiqueta colocada en un artículo.

Wal-Mart y Gillette, entre varios detallistas grandes, fabricantes, organismos gubernamentales y proveedores, se encuentran en proceso de implementar la RFID en sus cadenas de suministro. En el caso de Wal-Mart, las etiquetas de RFID que llevan las cajas y tarimas de carga se leerán cuando el inventario llegue a un almacén y cuando esas cajas y tarimas de carga salgan para colocar la mercancía en la tienda. Wal-Mart utilizará los datos para sacar conclusiones respecto a cuándo llevar mercancía adicional a la tienda y para calcular si una tienda ha pedido una cantidad excesiva de un producto, que está almacenado en el cuarto de existencias o en un centro de distribución. Los datos también podrían ayudar a unos 30,000 proveedores a verificar los niveles de inventario y las ventas. El uso de datos de RFID puede incrementar el nivel de servicio que el proveedor brinda a Wal-Mart. La reducción de hurtos es otra de las principales ventajas de la tecnología RFID. Gillette espera usar la RFID para reducir la cantidad de robos de hojas de afeitar, que ascienden a casi 30%.

Todavía no se sabe si la tecnología RFID se aceptará universalmente. La sincronización global de datos usando estándares de la industria es crucial para garantizar que los socios comerciales intercambien información precisa y consistente sobre los productos. Aún falta mucho trabajo por hacer. De acuerdo con los gerentes de Wal-Mart, la mejor manera de convertir en realidad la RFID es que todas las tiendas de venta al detalle se reúnan para trabajar conjuntamente en este proyecto.

PROCESOS DE DISTRIBUCIÓN

Uno de los aspectos fundamentales del surtido de pedidos es el proceso de distribución que lleva el producto o servicio al cliente. Tres decisiones importantes determinan el diseño y la implementación de los procesos de distribución.

- *Propiedad.* La empresa tiene la mayor parte del control sobre el proceso de distribución cuando es su propietaria y operadora, con lo que se convierte en un *distribuidor privado.* Aunque este enfoque puede contribuir mejor a cumplir las prioridades competitivas de la empresa, el costo del equipo, mano de obra, instalaciones y mantenimiento puede ser muy elevado. La empresa podría dejar la distribución a un *distribuidor por contrato,* y negociar con éste la prestación de servicios específicos. Dicho servicios podrían suponer que el contratista se hiciera cargo de una parte importante del proceso de surtido de pedidos. Por ejemplo, en UPS, la unidad de Soluciones para la Cadena de Suministro controla más de un millón de pies cuadrados de espacio de almacenamiento en el que administra los inventarios de sus clientes cerca de Shangai y Guangzhou en China. Los clientes usan el servicio de UPS para enviar artículos al almacén, y UPS administra las entregas a sitios específicos en China.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 10.2 REABASTECIMIENTO CONTINUO EN CAMPBELL SOUP COMPANY

Campbell Soup Company elabora productos que son muy sensibles al precio. Una prioridad competitiva importante de esta empresa son las operaciones de bajo costo, la cual se extiende a toda la cadena de suministro. Campbell opera en un ambiente en el que impera un alto grado de certidumbre. Cada año, sólo 5% de sus productos son nuevos; el resto ya han estado en el mercado desde hace años, lo que facilita los pronósticos de la demanda. A pesar de que Campbell ya contaba con altos niveles de servicio al cliente (en el 98% de las ocasiones, los productos de Campbell estaban disponibles en los inventarios de comerciantes detallistas), la gerencia consideró que era posible conseguir mejoras en lo referente a costos. Con ese propósito, analizó toda la cadena de suministro a fin de averiguar dónde se podría mejorar el desempeño.

El resultado fue un programa llamado *programa de reabastecimiento continuo* (CRP), que redujo los inventarios de los detallistas de cuatro semanas de aprovisionamiento a solamente dos. Esta reducción significa ahorros del orden de 1% de las ventas al detalle. Cuando las utilidades del detallista son en promedio de sólo 2% de las ventas, el resultado fue un incremento de 50% en las utilidades promedio que el detallista obtenía de la venta de los productos de Campbell. A causa de ese incremento en la rentabilidad, los comerciantes detallistas compraron una línea más amplia de productos Campbell, lo cual acrecentó las ventas de esta compañía. Este programa funciona de la siguiente forma:

- Cada mañana, Campbell utiliza el Intercambio Electrónico de Datos para enlazarse con los detallistas.
- Los detallistas informan a Campbell cuál es la demanda de sus productos y los niveles actuales de inventario en sus centros de distribución.
- Campbell determina los productos que tiene que reabastecer, basándose en los límites superior e inferior de inventario convenidos con cada detallista.
- Campbell realiza entregas diarias de los productos necesarios.

Campbell debe abstenerse de cualquier actividad que pueda trastornar la cadena de suministro. Por ejemplo, los detallistas que participan en el programa de reabastecimiento continuo tuvieron que renunciar al procedimiento de compra anticipada, un recurso que los comerciantes detallistas de la industria suelen emplear para comprar excedentes de mercancía a precios de descuento, con el fin de ofrecer después promociones basadas en los precios. Las compras anticipadas provocan trastornos en la cadena de suministro y elevan los costos para todos los participantes. Eso fue lo que ocurrió en el caso de la sopa de pollo. Campbell ofrecía grandes descuentos una vez al año y los detallistas los aprovechaban, comprando a veces reservas suficientes para todo el año. A causa del marcado incremento en la demanda, la planta de procesamiento de pollo tenía que trabajar tiempo extra. Por esa razón, los costos de toda la cadena de suministro se incrementaron: los costos de producción de Campbell aumentaron y los detallistas tuvieron que pagar el almacenamiento de sus grandes inventarios de sopa de pollo. Con el sistema de reabastecimiento continuo, esos costos adicionales se eliminan y todos los participantes se benefician.

El éxito del CRP alentó a Campbell a buscar otras formas de mejorar la eficiencia en la cadena de suministro. Una mejora es la rotación de pedidos más rápida para los clientes que participan en un nuevo programa llamado planificación, *pronóstico y abastecimiento en colaboración (CPFR)*, que es un movimiento que está ganando terreno en la industria de los comestibles. El programa permite a Campbell determinar conjuntamente con el comerciante detallista las cantidades en que se reabastecerán los productos, con lo que se elimina el inventario redundante y mejora el servicio al cliente.



Campbell Soup Company se las ingenió para conseguir mayores utilidades para los comerciantes detallistas que venden sus productos. Para ello, monitorea electrónicamente el inventario de cada detallista y le envía sopa de acuerdo con las necesidades. Sin embargo, las “compras anticipadas”, un recurso que los detallistas empleaban para comprar grandes cantidades de sopa a precios de descuento, tuvieron que suspenderse. La práctica daba origen a alzas súbitas en la demanda que causaban estragos en el sistema de Campbell.

Para combatir los patrones ineficientes de los pedidos de los clientes, Campbell también inició un “programa estratégico de fijación de precios” que recompensa a los clientes por hacer sus pedidos por medios electrónicos y en cantidades que llenan camiones y palés, en lugar de pedirlos por caja. Los clientes obtienen bonificaciones o descuentos en los precios por recoger los productos ellos mismos. Campbell observó un cambio significativo en los patrones de los pedidos de sus clientes a causa del programa, y aproximadamente dos terceras partes de sus clientes ahora satisfacen los criterios para ubicarse en el mejor nivel de precios. El programa estratégico de fijación de precios produjo varios millones de dólares en ahorros netos para Campbell y sus socios comerciales.

Fuentes: Marshall L. Fisher, “What Is the Right Supply Chain for Your Product?” *Harvard Business Review,* marzo-abril de 1997, pp. 105–116; Leslie Hansen Harps, “Shopping for Supply Chain Excellence”, inboundlogistics.com, 2002; Dan Gilmore, “Campbell Soup Solves Demand Planning Problem”, *Supply Chain Digest,* febrero de 2004, www.scdigest.com; www.campbellsoup.com, 2005.

- *Selección de medio de transporte.* Las cinco formas básicas de transporte son: camión, ferrocarril, barco, tubería y avión. La selección del medio de transporte debe basarse en las prioridades competitivas de la empresa. Los camiones brindan la mayor flexibilidad porque pueden ir dondequiera que vayan las carreteras. Los tiempos de tránsito son satisfactorios y las tarifas suelen ser mejores que las que cobran los ferrocarriles por el transporte de mercancías en cantidades pequeñas y a cortas distancias. El ferrocarril es capaz de transportar grandes cantidades a precios muy bajos, pero los tiempos de tránsito son largos y, a menudo, variables. El transporte por vía acuática ofrece alta capacidad y costos bajos, y es necesario para embarques trasatlánticos de artículos voluminosos; sin embargo, los tiem-

pos de tránsito son prolongados y a menudo se requiere transporte ferroviario o por carretera para llevar el producto a su destino final. El transporte por tubería es sumamente especializado y se emplea para conducción de líquidos, gases o sólidos en forma de compuestos acuosos. Aunque tiene muy poca flexibilidad geográfica, el transporte por tubería no requiere ningún tipo de empaque y los costos de operación por kilómetro son reducidos. Finalmente, el transporte aéreo es el más rápido, aunque también el más caro por kilómetro. No obstante, llevar un producto al cliente lo más rápido posible usando transporte aéreo puede reducir en realidad los costos totales cuando los costos de manejo y almacenamiento de inventario se comparan con los otros medios de transporte. El costo de los fondos inmovilizados en algunos inventarios en tránsito puede ser considerable.

- *Cruce de andén.* Las operaciones de bajo costo y la rapidez de la entrega pueden mejorar con una técnica llamada **cruce de andén,** que consiste en empacar los productos de los embarques entrantes para que puedan clasificarse con facilidad en almacenes intermedios para embarques salientes con base en su destino final; los artículos se llevan de la plataforma de carga del vehículo entrante a la plataforma de carga del vehículo saliente sin incorporarlos al inventario en el almacén. Por ejemplo, un camión que viene de Nebraska lleva productos a clientes en Ohio, Pennsylvania y Virginia y llega a un almacén en Columbus, Ohio, donde el personal del almacén descarga el contenido y lo vuelve a cargar en camiones que van rumbo a Ohio, Pennsylvania y Virginia. Los embarques entrantes deben coordinarse rigurosamente con los embarques salientes para que el cruce de andén funcione. El almacén se convierte en un área temporal de trabajo para organizar embarques eficientes dirigidos a los clientes. Los beneficios del cruce de andén incluyen reducciones en la inversión en inventarios, en las necesidades de espacio de almacenamiento y en los costos de manejo y tiempos de entrega, así como una mayor rotación del inventario y flujo de efectivo acelerado.

cruce de andén
Empacar los productos de los embarques entrantes para que puedan clasificarse con facilidad en almacenes intermedios para embarques salientes con base en su destino final; los artículos se llevan de la plataforma de carga del vehículo entrante a la plataforma de carga del vehículo saliente sin incorporarlos al inventario en el almacén.

> PROCESO DE RELACIONES CON LOS PROVEEDORES <

El proceso de relaciones con los proveedores se centra en la interacción de la empresa y los proveedores corriente arriba. Los principales proceso anidados incluyen los siguientes:

- *Proceso de aprovisionamiento.* El proceso de aprovisionamiento califica, selecciona, administra los contratos y evalúa a los proveedores.
- *Proceso de colaboración en el diseño.* El proceso de colaboración en el diseño se centra en diseñar conjuntamente nuevos servicios o productos con los principales proveedores. Este proceso trata de eliminar las costosas demoras y errores que se producen cuando muchos proveedores simultánea, pero independientemente, diseñan paquetes de servicios o componentes manufacturados. Sin compartir la información entre los proveedores, el resultado final puede dejar mucho que desear.
- *Proceso de negociación.* El proceso de negociación se centra en obtener un contrato eficaz que satisfaga los requisitos de precio, calidad y entrega de los clientes internos del proceso de relaciones con los proveedores.
- *Proceso de compras.* El proceso de compras se relaciona con la adquisición propiamente dicha del servicio o material del proveedor. Este proceso incluye la creación, administración y aprobación de las órdenes de compra.
- *Proceso de intercambio de información.* El proceso de intercambio de información facilita el intercambio de la información pertinente relativa a las operaciones, como pronósticos, programas y niveles de inventario, entre la empresa y su proveedor.

Esta sección se centra en varias áreas de decisión importantes que afectan el diseño del proceso de relaciones con los proveedores. La exposición comienza con los factores que las empresas toman en consideración para seleccionar y certificar a sus proveedores, una actividad importante en el proceso de aprovisionamiento. A continuación, se hablará del carácter de las relaciones con los proveedores, que se refleja en los procesos de negociación y colaboración en el diseño. La siguiente área de decisión es la de compras electrónicas, que afecta los procesos de compras e intercambio de información. En seguida se analizarán las implicaciones de las compras centralizadas frente a las compras localizadas, que afectan los procesos de negociación y compras. Por último, se explica la técnica del análisis de valor, que constituye el meollo del proceso de colaboración en el diseño.

SELECCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PROVEEDORES

Compras es la actividad que decide qué proveedores usar, negocia contratos y determina si la compra será local. Las empresas tratan constantemente de realizar mejores compras y adquirir nuevos materiales de los proveedores. La unidad de compras de una empresa es responsable de seleccionar mejores proveedores y poner en marcha programas de certificación. Estas dos actividades son importantes en el proceso de aprovisionamiento.

compras
La actividad que decide qué proveedores usar, negocia contratos y determina si la compra será local.

Selección de proveedores Para tomar decisiones sobre la selección de proveedores y revisar el desempeño de sus proveedores actuales, la gerencia debe examinar los segmentos de mercado que desea atender y relacionar las necesidades de éstos con la cadena de suministro. Las prioridades competitivas son un punto de partida para elaborar una lista de los criterios de desempeño que habrán de aplicarse. Por ejemplo, si usted fuera el gerente de una empresa que ofrece servicios de comida, es probable que la entrega a tiempo y la calidad fueran los dos criterios más importantes que aplicaría para seleccionar a sus proveedores. Estos criterios reflejan los requisitos que las cadenas de suministro de los servicios de comidas tendrán que satisfacer.

Los tres criterios que consideran con mayor frecuencia las empresas al seleccionar nuevos proveedores son: precio, calidad y entrega puntual. Debido a que las compañías gastan un porcentaje considerable de su ingreso total en la compra de artículos, uno de sus objetivos clave consiste en encontrar proveedores que ofrezcan *precios bajos*. Sin embargo, la *calidad* de los materiales que un proveedor proporciona también es importante. Los costos ocultos de la mala calidad pueden ser altos, especialmente si los defectos no se descubren sino hasta después de haber agregado a esos materiales un valor considerable mediante operaciones subsiguientes. En el caso de un detallista, la mala calidad de la mercancía suele significar la pérdida de la preferencia de los clientes y, por ende, de ventas futuras. Por último, los tiempos de espera cortos y la *entrega* a tiempo ayudan a la empresa compradora a mantener un buen nivel de servicio para sus clientes, con un volumen menor de inventario. Por ejemplo, Maimonides Medical Center, un hospital de Brooklyn con capacidad para 700 camas, compra muchos de sus materiales a un proveedor. Éste le ofrece tiempos de entrega muy breves, pues cuenta con un almacén cercano, y eso ha permitido que el Maimonides reduzca poco a poco su inventario, de unos $1,200 a sólo $150 por cama.

compras ecológicas
El proceso de identificar, evaluar y administrar el flujo de desechos contaminantes y encontrar la manera de reducirlos y minimizar su impacto en el medio ambiente.

Un cuarto criterio que está adquiriendo mucha importancia en la selección de los proveedores es el impacto ambiental. Muchas empresas realizan **compras ecológicas,** lo que implica identificar, evaluar y administrar el flujo de desechos contaminantes y encontrar la manera de reducirlos y minimizar su impacto en el medio ambiente. Se está pidiendo que los proveedores sean conscientes del medio ambiente cuando diseñan y fabrican sus productos. El uso de adjetivos como *ecológico, biodegradable, natural* y *reciclado* deben sustentarse en una licitación para obtener un contrato. En el futuro no muy distante, este criterio podría ser uno de los más importantes en la selección de los proveedores.

Certificación del proveedor En los programas para la certificación de proveedores se comprueba que los posibles proveedores tengan la capacidad necesaria para suministrar los materiales o servicios que la empresa compradora requiere. Por lo general, la certificación implica visitas al lugar por un equipo interfuncional de la empresa compradora, el cual realiza una evaluación detallada de la capacidad del proveedor para satisfacer los objetivos de costo, calidad, entrega y flexibilidad, desde las perspectivas del proceso y del sistema de información. Dicho equipo puede estar formado por miembros de las áreas de operaciones, compras, ingeniería, sistemas de información y contabilidad. Se examinan todos los aspectos de la producción de los materiales o servicios en cuestión. El equipo observa los procesos en marcha del proveedor y revisa la documentación para comprobar su integridad y precisión. Una vez que el proveedor obtiene la certificación, el área de compras recurre a él sin tener que investigar sus antecedentes. Se vigila el desempeño y se conservan registros del mismo. Al cabo de cierto periodo, o si el desempeño se deteriora, puede ser necesario certificar nuevamente al proveedor.

RELACIONES CON EL PROVEEDOR

El carácter de las relaciones que una empresa mantiene con los proveedores puede afectar la calidad, puntualidad y precio de los productos y servicios de la misma. La orientación de la empresa hacia las relaciones con los proveedores afecta los procesos de negociación y colaboración en el diseño.

orientación competitiva
Relación con un proveedor en la que las negociaciones entre el comprador y el vendedor se visualizan como un juego de suma cero: todo aquello que pierde una de las partes, la otra lo gana, y las ventajas a corto plazo son más apreciadas que los compromisos a largo plazo.

Orientación competitiva En la **orientación competitiva** las negociaciones entre el comprador y el vendedor se visualizan como un juego de suma cero: todo aquello que pierde una de las partes, la otra lo gana. Las ventajas a corto plazo son más apreciadas que los compromisos a largo plazo. El comprador trata de rebajar el precio del proveedor hasta el nivel de supervivencia más precario, o bien, intenta incrementar la demanda a altos niveles en las épocas de bonanza y reducir sus pedidos a casi nada durante las recesiones. En cambio, el proveedor presiona para obtener precios más altos por niveles específicos de calidad, servicio al cliente y flexibilidad en el volumen. El que alguna de las partes se imponga dependerá en gran medida de cuál de ellas tiene mayor poder e influencia.

El poder adquisitivo determina el grado de influencia que una empresa tiene. Se dice que ésta tiene poder adquisitivo cuando su volumen de compras representa una parte importante de las ventas del proveedor, o si el artículo o servicio adquirido es estandarizado y hay muchos sustitutos disponibles. Por ejemplo, Premier, Inc., una cooperativa formada por 1,759 hospitales afiliados, gasta 10,000 millones de dólares al año en servicios y materiales para sus socios. Los proveedores se sienten incómodos porque tienen que dar a Premier precios mucho más bajos que a sus otros clientes con tal de no perder ese negocio. Premier está dispuesto a comprar a cualquiera que

le ofrezca la cotización más baja, sin demostrar mucha lealtad hacia ningún proveedor. Los analistas estiman que Premier ha contribuido a reducir el costo de los servicios médicos en 2,000 millones de dólares al año debido a estos esfuerzos.

Orientación cooperativa En la **orientación cooperativa** se hace énfasis en que el comprador y el vendedor son socios y se ayudan mutuamente lo más posible. La orientación cooperativa significa un compromiso a largo plazo, esfuerzo conjunto en la calidad y servicio o en los diseños de los productos y respaldo del comprador para el desarrollo administrativo, tecnológico y de la capacidad de producción del proveedor. La orientación cooperativa favorece a unos cuantos proveedores de un artículo o servicio en particular y el número ideal en este enfoque es de sólo uno o dos proveedores. A medida que el volumen de los pedidos aumenta, el proveedor se beneficia de las economías de escala, lo cual propicia la reducción de los costos. Cuando los contratos son grandes y la relación a largo plazo está asegurada, el proveedor puede incluso construir una instalación nueva y contratar una nueva fuerza de trabajo, cambiando tal vez, su localización a un sitio más cercano a la planta del comprador. Los proveedores llegan a ser casi como una extensión del comprador.

orientación cooperativa
Relación con un proveedor en la que el comprador y el vendedor son socios y se ayudan mutuamente lo más posible.

Una orientación cooperativa significa que el comprador comparte más información con el proveedor acerca de sus futuras intenciones de compra. Esta transparencia en relación con el futuro permite que los proveedores elaboren pronósticos mejores y más confiables sobre la demanda futura. El comprador visita personalmente las plantas de los proveedores y cultiva una actitud de colaboración con ellos. El comprador puede incluso sugerir la forma en que los proveedores pueden mejorar sus operaciones. Esta estrecha cooperación con los proveedores podría significar inclusive que el comprador no tenga que inspeccionar los materiales que recibe. También podría implicar que el proveedor participe más en el diseño de los servicios o productos y en la implementación de ideas para reducir los costos, así como la participación de ambas partes en los ahorros obtenidos.

Una ventaja de reducir el número de proveedores en la cadena de suministro es que se reduce la complejidad que implica administrarlos. Sin embargo, reducir el número de proveedores de un artículo o servicio puede tener la desventaja de aumentar el riesgo de que se presenten interrupciones en el suministro. También se reducen las oportunidades de obtener tratos ventajosos a menos que el comprador tenga mucho poder. El método de **fuente única de abastecimiento**, que consiste en adjudicar un contrato por un artículo o servicio a un solo proveedor, puede amplificar los problemas que pueden presentarse con dicho proveedor.

fuente única de abastecimiento
La adjudicación de un contrato por un artículo o servicio a un solo proveedor.

Tanto la orientación competitiva como la cooperativa tienen ventajas y desventajas. La clave consiste en usar el método que sea más conveniente para las prioridades competitivas de la empresa. Algunas compañías usan una estrategia mixta y aplican una orientación competitiva con sus suministros de materias primas y productos básicos y una orientación cooperativa para sus servicios y materiales complejos, de alto valor o de alto volumen.

COMPRAS ELECTRÓNICAS

Aunque no todas las oportunidades de compra suponen el uso de Internet, la aparición del mercado virtual, en efecto, ha brindado a las empresas muchas oportunidades para mejorar sus procesos de compra e intercambio de información. En esta sección se tratarán cuatro métodos para realizar compras por medios electrónicos: (1) intercambio electrónico de datos; (2) centros de catálogos electrónicos; (3) bolsas de comercio, y (4) subastas.

Intercambio electrónico de datos La forma de compra electrónica que más se usa en la actualidad es el **intercambio electrónico de datos (EDI,** del inglés *electronic data interchange*), una tecnología que permite la transmisión de documentos comerciales ordinarios, convertidos a un formato estándar, que se realiza de computadora a computadora a través de líneas telefónicas o líneas directas alquiladas. Por medio de software especial de comunicaciones, los documentos se traducen de y a una forma genérica que permite a las empresas intercambiar información aunque sus respectivos sistemas de hardware y software sean diferentes. Algunos de los documentos ordinarios que maneja el EDI son facturas, órdenes de compra e información sobre los pagos, con lo cual se sustituyen las llamadas telefónicas o los documentos enviados por correo.

intercambio electrónico de datos (EDI)
Tecnología que permite la transmisión de documentos comerciales ordinarios, convertidos a un formato estándar, que se realiza de computadora a computadora a través de líneas telefónicas o líneas directas alquiladas.

Un sistema electrónico de compras con EDI funciona de la siguiente forma: los compradores revisan un catálogo electrónico y hacen clic en los artículos que desean comprar a un proveedor. Una computadora envía el pedido directamente a dicho proveedor. La computadora de éste verifica el crédito del comprador y confirma que los artículos solicitados estén disponibles. Se notifica electrónicamente a los departamentos de almacén y embarques del proveedor, y los artículos se preparan para su envío. Por último, el departamento de contabilidad del proveedor envía electrónicamente la factura al comprador. Los ahorros son considerables (fluctúan entre $5 y $125 por documento), tomando en cuenta los cientos o miles de documentos que muchas compañías manejan habitualmente todos los días.

centros de catálogos electrónicos
Sistema en el que los proveedores publican su catálogo de artículos en Internet y los compradores seleccionan lo que necesitan y compran los artículos por medios electrónicos.

Centros de catálogos electrónicos Los **centros de catálogos electrónicos** se pueden usar para reducir los costos de colocar los pedidos con los proveedores, así como los costos de los propios bienes o servicios. Los proveedores publican su catálogo de artículos en Internet y los comprado-

res seleccionan lo que necesitan y compran los artículos por medio electrónicos. El centro conecta a la empresa con cientos de proveedores potenciales a través de Internet, ahorrando los costos del EDI, que requiere conexiones de uno a uno con cada proveedor. Además, la empresa compradora puede negociar los precios de los productos con los proveedores individuales, como en el caso de los artículos de oficina, equipo técnico, servicios, etcétera. El catálogo que ven los empleados de la empresa compradora contiene sólo los artículos aprobados y los precios que el comprador ha negociado previamente con sus proveedores. Los empleados usan sus computadoras para seleccionar lo que necesitan y el sistema genera las órdenes de compra, que se despachan electrónicamente a los proveedores.

bolsas de comercio
Mercado electrónico donde se reúnen las empresas compradoras y vendedoras para hacer negocios.

Bolsas de comercio Una **bolsa de comercio** es un mercado electrónico donde se reúnen las empresas compradoras y vendedoras para hacer negocios. La bolsa mantiene relaciones con compradores y vendedores, lo que facilita las transacciones mercantiles sin el aspecto de las negociaciones contractuales u otros tipos de condiciones a largo plazo. Las bolsas se usan a menudo con el fin de realizar compras "spot" para satisfacer una necesidad inmediata al costo más bajo posible. Los productos básicos, como el petróleo, acero o energéticos, se clasifican dentro de esta categoría. Sin embargo, las bolsas también pueden usarse para comprar casi cualquier artículo. Por ejemplo, Marriott International y Hyatt Corporation formaron una bolsa para comprar artículos para hoteles. Tradicionalmente, los hoteles compraban suministros a miles de empresas usando faxes, teléfonos y formularios por cuadriplicado. La colocación de los pedidos era cara y había pocas oportunidades de comparar precios. La nueva bolsa, donde se negocian miles de artículos de muchas empresas, constituye un solo lugar donde los hoteles que usan este servicio encuentran todo lo que necesitan.

subasta
Mercado donde las empresas presentan ofertas competitivas para comprar algo.

Subastas Una extensión de una bolsa de comercio es una **subasta,** donde las empresas presentan ofertas competitivas para comprar algo. Por ejemplo, se puede formar un sitio para una industria concreta, y las empresas que tienen exceso de capacidad o materiales los ofrecen en venta al mejor postor. Las licitaciones pueden estar cerradas o abiertas a la competencia. Las subastas tienen valor en la industria siderúrgica, la industria química y la de hipotecas para vivienda, donde las instituciones financieras pueden pujar por las hipotecas. Las analogías en el mundo B2C incluyen a eBay y Priceline.com.

Un método que ha recibido atención considerable es la así llamada *subasta inversa,* donde los proveedores pujan por los contratos de los compradores. Uno de estos sitios es FreeMarkets, un mercado electrónico donde las compañías de la lista *Fortune* 500 ofrecen contratos de suministro en subastas abiertas. Cada oferta se publica para que los proveedores vean cuánto más baja tiene que ser su próxima oferta para seguir compitiendo por el contrato. Cada contrato tiene un prospecto electrónico que contiene todas las especificaciones, condiciones y otros requisitos que no son negociables. Lo único que falta por determinar es el costo para el comprador. Los ahorros pueden ser espectaculares. Por ejemplo, una compañía publicó un contrato para adquirir partes de plástico con un precio de referencia inicial de 745,000 dólares, que era el precio más reciente para ese contrato. Veinticinco proveedores compitieron por conseguir el contrato en una puja que duró 20 minutos. A los pocos minutos de que comenzó la puja, el precio había bajado a 738,000 dólares y después se redujo notablemente a 612,000 dólares. Cuando faltaban 30 segundos para que concluyera la subasta, el precio bajó a 585,000 dólares y, por último, a 518,000 después de 13 minutos de puja en tiempo extra. En poco más de media hora, la compañía ahorró aproximadamente 31%. El concepto de la subasta interna ha crecido en su aplicación. Ford, GM y DaimlerChrysler* organizaron un mercado de subastas inversas para adquirir partes con los proveedores. Mercados semejantes se están formando en torno de la compraventa de papel, plástico, acero, ancho de banda, productos químicos y otras cosas por el estilo.

Esta exposición de los métodos de compra electrónicos no debe causarle la impresión de que el costo es lo único que las empresas toman en consideración. Las bolsas de comercio y las subastas son más útiles para productos básicos, cuasi básicos o artículos que no se necesitan con frecuencia y requieren sólo relaciones a corto plazo con los proveedores. No obstante, éstos deben verse como socios cuando el abastecimiento necesario es considerable y estable a través de periodos largos. La participación del proveedor en el diseño del servicio o producto y el mejoramiento del desempeño de la cadena de suministro requiere relaciones a largo plazo que no son posibles con los precios competitivos en Internet.

COMPRAS CENTRALIZADAS FRENTE A COMPRAS LOCALIZADAS

Cuando una organización tiene varias instalaciones (por ejemplo, tiendas, hospitales o plantas), la gerencia debe decidir si habrá de comprar en forma local o central. Esta decisión tiene repercusiones en el control de los flujos de la cadena de suministro y los procesos de negociación y compra.

Las compras centralizadas ofrecen la ventaja de incrementar el poder adquisitivo para influir en las transacciones, lo cual suele traducirse en ahorros importantes, a menudo del orden de 10% o más. Un mayor poder adquisitivo puede significar la obtención de mejor servicio, la garantía de disponibilidad del suministro a largo plazo o el desarrollo de una nueva capacidad productiva del proveedor. Las compañías que tienen proveedores en otros países son partidarias de la centralización debido a que las habilidades especializadas (por ejemplo, el conocimiento de idiomas y cul-

* N del RT En 2007 DaimlerChrysler vendió 80.1% de Chrysler al fondo Cerberus, separándose Daimler con el 19.9% restante y cambió su nombre a Daimler AG.

turas extranjeros) que se requieren para comprar a proveedores extranjeros pueden centralizarse en un solo lugar. También es necesario que los compradores comprendan las leyes contractuales y comerciales de carácter internacional que rigen la transferencia de bienes y servicios. Otra tendencia que favorece la centralización es el crecimiento de los sistemas de información basados en la informática e Internet, gracias a los cuales los especialistas que se encuentran en las oficinas centrales tienen acceso a datos que antes sólo era posible obtener a nivel local.

Es probable que la mayor desventaja de las compras centralizadas sea la pérdida de control en el nivel local. Las compras centralizadas no resultan convenientes cuando se trata de adquirir artículos exclusivos de una instalación en particular. Esos artículos deben comprarse en el nivel local siempre que sea posible. La misma recomendación es válida para las compras que deben estar estrechamente vinculadas a los programas de producción. Más aún, las compras localizadas implican una ventaja cuando la empresa tiene instalaciones importantes en países extranjeros, porque los gerentes de esos lugares, a menudo ciudadanos de las naciones en cuestión, conocen mucho mejor sus respectivas culturas que el personal instalado en la oficina matriz. Además, las compras centralizadas implican a menudo tiempos de entrega más largos y la creación de un nivel adicional en la escala jerárquica de la compañía.

La mejor solución consiste, tal vez, en la adopción de una estrategia intermedia, en la cual tanto la autonomía local como las compras centralizadas resulten factibles. Por ejemplo, el grupo de compras corporativas de IBM negocia contratos de manera centralizada solamente cuando las plantas locales lo solicitan. En esos casos, la gerencia de una de las plantas monitorea el debido cumplimiento del contrato en representación de todas las plantas participantes.

ANÁLISIS DE VALOR

Un esfuerzo sistemático para reducir el costo o mejorar el desempeño de los productos o servicios, ya sea comprados o producidos, se conoce como **análisis de valor**. Consiste en un análisis intensivo de los servicios, materiales, procesos, sistemas de información y flujos de materiales que intervienen en la producción de un servicio o artículo. Entre sus ventajas figuran la reducción de los costos de producción, materiales y distribución; márgenes de utilidad más amplios; y un incremento en la satisfacción del cliente. Puesto que los equipos integrados por personal de compras, producción e ingeniería, tanto de la propia empresa como de sus principales proveedores, desempeñan un papel clave en el análisis de valor, otro posible beneficio es que eleva la moral de los empleados.

análisis de valor
Esfuerzo sistemático para reducir el costo o mejorar el desempeño de los productos o servicios, ya sea comprados o producidos.

El análisis de valor insta a los empleados de la empresa y a sus proveedores a plantearse preguntas como las siguientes: ¿cuál es la función del servicio o artículo? ¿Es necesaria esa función? ¿Es posible encontrar una parte estándar de menor costo que cumpla el mismo propósito? ¿Podría simplificarse el servicio o artículo o hacer menos estrictas sus especificaciones con el fin de conseguir un precio más bajo? ¿Sería posible diseñar el servicio o artículo de manera que pueda producirse con mayor eficiencia o rapidez? ¿Hay posibilidades de agregar al servicio o artículo las características que el cliente más valora? El análisis de valor debe formar parte de un esfuerzo continuo encaminado a mejorar el desempeño de toda la cadena de suministro y acrecentar el valor que tiene para el consumidor el servicio o artículo producido.

El análisis de valor se puede centrar exclusivamente en los procesos internos con cierto éxito, pero su verdadero potencial reside en aplicarlo también a toda la cadena de suministro. Un enfoque que muchas empresas están utilizando en su proceso de colaboración en el diseño se conoce como **participación temprana del proveedor**, que es un programa en el cual se incorpora a los proveedores durante la fase de diseño de un producto o servicio. Los proveedores ofrecen sugerencias sobre cambios en el diseño y selección de materiales, que se traducirán en operaciones más eficientes y en una calidad más alta. En la industria automotriz, un nivel aún más elevado de participación temprana del proveedor recibe el nombre de **aprovisionamiento previo**, y en él se selecciona a los proveedores desde el inicio de la etapa de desarrollo del concepto de un nuevo producto y se les confiere un grado de responsabilidad considerable, cuando no total, por el diseño de determinados componentes o sistemas del producto. Los proveedores contratados en el proceso de aprovisionamiento previo también se hacen responsables del costo, calidad y entrega puntual de los artículos que producen.

participación temprana del proveedor
Programa en el cual se incorpora a los proveedores durante la fase de diseño de un producto o servicio.

aprovisionamiento previo
Nivel de participación del proveedor en el que se selecciona a los proveedores desde el inicio de la etapa de desarrollo del concepto de un nuevo producto y se les confiere un grado de responsabilidad considerable, cuando no total, por el diseño de determinados componentes o sistemas del producto.

Ahora que se ha explicado el proceso de relaciones con los proveedores, póngase en el lugar de la gerencia de Starwood en el siguiente reto administrativo. ¿Cómo haría frente a los retos de comprar la ropa de cama y las toallas?

ESTRATEGIAS DE CADENA DE SUMINISTRO

En esta sección se hablará de varias estrategias contemporáneas de cadena de suministro y se demostrará cómo pueden apoyar las estrategias de operaciones de las empresas.

ENFOQUE ESTRATÉGICO

Una cadena de suministro es, por supuesto, una red de empresas. En consecuencia, cada empresa incorporada a la cadena debe construir su propia cadena de suministro que brinde soporte a las priori-

RETO ADMINISTRATIVO

ESTRATEGIA DE CADENA DE SUMINISTRO EN STARWOOD



Toallas de baño, televisores, verduras frescas, uniformes. A primera vista, parecería que estos artículos no tienen ninguna relación entre sí. Claro, existen en todos los hogares, aunque tal vez se compran independientemente unos de otros. Sin embargo, para el gerente de la cadena de suministro, empleado en la industria de la hospitalidad, no sólo tienen relación entre sí, sino que su compra puede ser crucial para obtener una ventaja competitiva.

Sólo hay que preguntar a Paul Davis, vicepresidente de abastecimiento estratégico de las operaciones de Starwood en América del Norte. Con cientos de hoteles y centros turísticos en Estados Unidos, Canadá y el Caribe, la meta de Davis es crear la mejor organización de la cadena de suministro en la industria de la hospitalidad. Los artículos que se adquieren dentro de esta organización no sólo incluyen bienes que tienen que reabastecerse, como las verduras frescas y los productos alimenticios, sino que también se extienden a la celebración de contratos nacionales con proveedores de productos no perecederos, como toallas de baño, aparatos electrónicos, ropa para el personal, energía y servicios.

Es fácil confundir los procesos de la cadena de suministro con la adquisición rutinaria de bienes y servicios. La cadena de suministro de Starwood ciertamente incluye la contratación de proveedores, pero es mucho más: consta de los procesos de relaciones con los clientes, surtido de pedidos y relaciones con los proveedores. Existen vínculos fuertes entre los proveedores de servicios, materiales e información, situados corriente arriba en la cadena de la compañía, y los clientes de los hoteles y centros turísticos de Starwood. Si las relaciones corriente arriba no se administran con cuidado, la entrega corriente abajo de consistencia, calidad y valor a los huéspedes de Starwood puede resultar afectada. En consecuencia, se invierten esfuerzos considerables en los procesos anidados dentro del proceso de relaciones con los proveedores, como colaboración en diseño, aprovisionamiento, negociación, contratación de proveedores e intercambio de información.

Varios sucesos desencadenan la participación del equipo de la cadena de suministro de Paul Davis:

- Los contratos actuales llegan a su vencimiento.
- Las marcas individuales de hoteles buscan nuevos productos.
- Los equipos de diseño del hotel generan ideas.
- Los proveedores aportan nuevas ideas a Starwood.
- Aparecen nuevas categorías de productos que necesitan someterse a evaluación.
- Un hotel en particular necesita ayuda con un contrato local de servicios.

Cuando es necesario adquirir un producto o servicio, las especificaciones se determinan tomando en cuenta a los clientes internos, como los chefs de los restaurantes o el área de limpieza y mantenimiento de los hoteles. Si el producto o servicio no existe aún, se investiga a proveedores nacionales e internacionales que podrían crear el artículo, así como los posibles vendedores regionales y locales. A veces, el reabastecimiento de un artículo existente significa simplemente renovar un contrato con un proveedor actual. Sin embargo, otras situaciones exigen la creación de una nueva categoría que no se haya adquirido con anterioridad o usar a un tercero que ayude a localizar fuentes de abastecimiento.

Siempre se actúa con la debida diligencia y se envía a los posibles proveedores una “solicitud de información”, ya sea en papel o en formato electrónico. Las respuestas que envían los proveedores se introducen a una base de datos y ayudan a Starwood a preseleccionarlos. Se busca un buen ajuste, lo que requiere que el proveedor satisfaga requisitos mínimos de viabilidad financiera, calidad, alcance de operaciones, referencias y evitar riesgos legales. Con un conjunto apropiado de posibles candidatos a proveedores, Starwood sigue uno de dos caminos. El primero es realizar una subasta inversa en la que los proveedores preseleccionados presentan ofertas que compiten entre sí. Este método se usa con contratos a corto plazo de productos básicos que tienen poca visibilidad con los



La cadena de hoteles Starwood ha convertido el abastecimiento estratégico en un arte. Starwood compra productos complejos y de alto valor a un grupo selecto de proveedores, y con los artículos básicos usa métodos más convencionales, como las licitaciones competitivas. La cadena también trabaja en estrecha colaboración con sus proveedores para mejorar no sólo sus propios márgenes de utilidad, sino también los de ellos.

clientes externos. Los uniformes de cocina, las llaves de las puertas de las habitaciones y la pintura se compran así. La segunda opción consiste en enviar una solicitud de propuesta (RFP, del inglés *request for proposal*), que requiere que el proveedor presente a consideración sus mejores términos desde el principio.

Después de que el equipo de la cadena de suministro revisa estas propuestas, se entablan negociaciones con el proveedor que gana la subasta o que surge de la revisión de las RFP como el que mejor se ajusta a las necesidades. A lo largo de todo el proceso de creación de relaciones con los proveedores, Starwood se preocupa por conocerlos, pero la situación se vuelve mucho más personal en este momento, cuando las dos partes avanzan hacia la conclusión de las negociaciones del contrato.

Starwood mantiene una orientación cooperativa hacia las relaciones con sus proveedores y trata de crear asociaciones que maximizan el valor para cada parte con la finalidad de asegurar que cada una de ellas se sienta cómoda con las condiciones de precio, calidad y entrega que acordaron durante el proceso de negociación del contrato. Cuando las negociaciones concluyen, se informa a las diferentes marcas y los procesos de compras e intercambio de información dan inicio.

En este momento, se podría pensar que el trabajo del equipo de la cadena de suministro ha concluido. No obstante, la administración de la relación existente con el proveedor después de que se seca la tinta del contrato es tal vez la tarea más difícil de todas. El contrato que cubre el abastecimiento de ropa de cama y toallas constituye un ejemplo ideal. Poco tiempo después de que el contrato quedó finalizado, otro proveedor presentó a Starwood una oferta para abastecer bienes de calidad comparable a un costo mucho menor. Los gerentes de la cadena de suministro tenían que tomar una decisión: continuar trabajando con el proveedor existente o liquidar el contrato de su proveedor actual y empezar a comprarle al nuevo.

Retos administrativos para adquirir materiales y servicios de Starwood

1. ¿Debe mantener Starwood una orientación cooperativa o competitiva con sus proveedores para el tipo de artículos que aquí se describen?
2. ¿Qué tipos de información intercambia Starwood con su proveedor de ropa de cama y toallas? ¿Qué riesgo corre Starwood si comparte demasiada información?
3. ¿Cómo abordaría usted el abastecimiento de ropa de cama y toallas? Es decir, ¿organizaría una subasta inversa o solicitaría propuestas a los proveedores? ¿En qué circunstancias cambiaría usted de proveedor?
4. Además de realizar un análisis de valor de los servicios que los diferentes hoteles ofrecen, Starwood evalúa el desempeño de sus proveedores y lo compara con las medidas establecidas en el contrato respectivo. Usando el proveedor de ropa de cama y toallas como ejemplo, explique algunas de las medidas que Starwood debe usar.

dades competitivas de sus servicios o productos. Aun cuando se han aplicado tecnologías de amplia cobertura (como el intercambio electrónico de datos (EDI), Internet, el diseño asistido por computadora, la manufactura flexible y el almacenamiento automatizado) en todas las etapas de la cadena de suministro, el desempeño de muchas de éstas sigue siendo decepcionante. En un estudio de la industria alimentaria de Estados Unidos se estimó que la mala coordinación entre los integrantes de las cadenas de suministro ocasionaba un desperdicio equivalente a 30,000 millones de dólares al año. Una causa posible de los fracasos es que los gerentes no comprenden la naturaleza de la demanda de sus productos o servicios y, por consiguiente, no aciertan a formular estrategias de cadena de suministro que satisfagan esa demanda. Dos diseños diferentes que se han usado para lograr una ventaja competitiva son: las *cadenas de suministro eficaces* y las *cadenas de suministro con capacidad de respuesta* (Fisher, 1997). La tabla 10.2 muestra los ambientes más adecuados para cada uno de esos diseños.

Cadenas de suministro eficientes El carácter de la demanda de los productos y servicios de una empresa es un factor clave en la selección de la mejor estrategia de cadena de suministro. Las cadenas de suministro eficientes funcionan mejor en ambientes donde la demanda es sumamente previsible, como sucede con la demanda de los artículos de primera necesidad que se compran en los supermercados o la demanda de un servicio de entrega de paquetería. El interés de la cadena de suministro se centra en los flujos eficientes de materiales y servicios y en mantener los inventarios en un nivel mínimo. Por el tipo de mercados que atienden esas empresas, los diseños de los productos y servicios duran mucho tiempo, la introducción de otros nuevos es infrecuente y la variedad es reducida. Comúnmente, la producción de esas compañías está destinada a mercados donde el precio es un factor crucial para obtener un pedido. Los márgenes de contribución son bajos y la eficiencia es importante. En consecuencia, las prioridades competitivas de esas compañías son las operaciones de bajo costo, la calidad consistente y la entrega a tiempo.

Cadenas de suministro con capacidad de respuesta Las cadenas de suministro con capacidad de respuesta se diseñan para reaccionar con rapidez a fin de protegerse contra la incertidumbre de la demanda. Éstas funcionan mejor cuando las empresas ofrecen una amplia variedad de productos o servicios, y la previsibilidad de la demanda es baja. Para seguir siendo competitivas, las empresas que tienen este tipo de cadenas de suministro introducen con frecuencia nuevos servicios o productos al mercado. No obstante, debido al carácter innovador de sus servicios o productos, disfrutan de altos márgenes de contribución. Las prioridades competitivas típicas son la velocidad del desarrollo, tiempos de entrega rápidos, personalización, variedad, flexibilidad en el volumen y calidad superior. Es posible que las empresas se enteren de qué productos o servicios

TABLA 10.2 Ambientes más apropiados para cadenas de suministro eficaces y con capacidad de respuesta

Factor	Cadenas de suministro eficientes	Cadenas de suministro con capacidad de respuesta
Demanda	Previsible, errores de pronóstico bajos	Imprevisible, errores de pronóstico altos
Prioridades competitivas	Bajo costo, calidad consistente, entrega a tiempo	Velocidad de desarrollo, tiempos de entrega rápidos, personalización, flexibilidad en volumen, variedad, calidad superior
Introducción de nuevos servicios o productos	Infrecuente	Frecuente
Márgenes de contribución	Bajos	Altos
Variedad de productos	Baja	Alta

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 10.3 UNA CADENA DE SUMINISTRO CON CAPACIDAD DE RESPUESTA AYUDA A UN MINORISTA EUROPEO DE ROPA A COMPLACER A LOS CLIENTES

Suponga que está buscando el último grito de la moda en un chaleco tejido para caballero o un vestido negro con acentos en rojo y beige, con un nivel de calidad más cercano al de Banana Republic que al de The Gap, y a precios más o menos del nivel de Old Navy. Está de suerte si va de compras a Zara, una cadena de 650 tiendas de ropa en Europa, América y el Medio Oriente, dirigidas a satisfacer a clientes exigentes que les gusta vestir al estilo europeo. Zara forma parte de Inditex, un conglomerado de comercio al detalle que percibe ingresos de 2,800 millones de dólares y tiene 1,315 tiendas en 50 países. Zara contribuye 70% de las ventas de Inditex, las cuales crecieron a una tasa anual de 31% en 2001, y siguen creciendo aun cuando los competidores, como Gap y H&M de Suecia, se reducen. ¿Cuál es su secreto?

En el campo de la ropa de moda, nada es más importante que el tiempo para llegar al mercado, y no la publicidad (Zara se anuncia sólo dos veces al año), las promociones de ventas (Zara usa muy poco las promociones) o los costos de mano de obra. En lugar de recurrir a los países del Tercer Mundo para fabricar sus prendas a bajo costo, Zara diseñó una cadena de suministro capaz de reaccionar con rapidez ante los cambios en las preferencias de los clientes. Las fábricas que seleccionó tenían que ser flexibles y estar equipadas para ofrecer una respuesta rápida, algo que habría sido difícil de lograr si las fábricas estuvieran situadas en América del Sur o en Asia.

Todo comienza con el grupo de desarrollo de nuevos productos, que se localiza en las oficinas centrales de Zara en La Coruña, España. Ahí, unos 200 diseñadores y gerentes de productos deciden qué crear, dados los informes de los gerentes de las 650 tiendas en todo el mundo. El grupo desarrolla más de 10,000 nuevos artículos cada año, muchos más que la competencia. Los diseñadores dibujan sus ideas en computadoras y las mandan a las fábricas, que se sitúan al otro lado de la autopista, frente a las oficinas centrales. A los pocos días empiezan las operaciones de corte, teñido, costura y planchado.

Un elemento clave de la cadena de suministro es un almacén de cuatro pisos y 465,000 metros cuadrados (el equivalente a 90 canchas de futbol) que está conectado a 14 fábricas por medio de una serie de túneles, cada uno equipado con un sistema de vías y cables. Los abrigos, pantalones, vestidos y otros productos que se fabrican en las plantas se colocan en percheros y se transportan por medio de cables a través de los túneles al almacén, donde la mercancía se selecciona y clasifica, se cambia de ruta, se vuelve a clasificar y después se lleva a un área especial donde cada tienda Zara tiene su propia zona de preparación. En cuanto el pedido de la tienda está completo, se empaca y envía a su destino: por camión si se trata de un destino europeo o por avión si es fuera de Europa. La gran mayoría de las prendas pasan en el almacén sólo unas cuantas horas.

La administración de Zara está convencida de que la flexibilidad y la rapidez son las dos principales prioridades competitivas de su cadena de suministro. El tiempo que transcurre desde que se empieza a desarrollar una nueva prenda hasta que se acomoda en los anaqueles de la tienda para su venta es de apenas tres semanas. En cambio, Gap tarda nueve meses en completar el mismo ciclo. Sin embargo, tal desempeño tiene un precio. Los costos de fabricación de Zara son entre 15 y 20% más altos que los de sus rivales. El punto clave es que, a pesar de esto, el negocio es muy redituable. Zara mantiene un margen de utilidad de 10%, que está a la par de lo mejor en la industria.

Fuentes: Miguel Helft, "Fashion Fast Forward", *Business Week,* mayo de 2002; Kasra Ferdows, Michael A. Lewis, and Jose A. D. Machuca, "Rapid Fire Fulfillment", *Harvard Business Review,* noviembre de 2004, pp. 104–110.

necesitarán proveer hasta que llegan los pedidos de los clientes. Además, la demanda puede ser efímera, como en el caso de los productos de moda. El interés de las cadenas de suministro con capacidad de respuesta se centra en el tiempo de reacción, ya que estas empresas tratan de no mantener inventarios costosos que, a la postre, tendrían que vender con grandes descuentos. La práctica administrativa 10.3 muestra cómo un detallista europeo de ropa usó una cadena de suministro con capacidad de respuesta para adquirir ventaja competitiva.

Combinación de cadenas de suministro eficientes y con capacidad de respuesta Es posible que una empresa tenga que utilizar ambos tipos de cadenas de suministro, sobre todo cuando enfoca sus operaciones en segmentos específicos del mercado o puede segmentar la cadena de suministro para satisfacer dos necesidades distintas. Por ejemplo, la cadena de suministro de un producto estándar, como un buque cisterna para transportar petróleo, tiene requisitos diferentes que la de un producto personalizado, como un crucero de lujo, aun cuando ambos sean naves de transporte marítimo y los fabrique la misma compañía. También se pueden observar elementos de eficiencia y capacidad de respuesta en la misma cadena de suministro. Por ejemplo, Gillette usa una cadena de suministro eficiente para fabricar sus productos en la que utiliza un proceso de manufactura intensivo en capital, y luego usa una cadena de suministro con capacidad de respuesta que permite que los procesos de empaque y entrega ofrezcan una buena capacidad de respuesta a los comerciantes detallistas. La operación de empaque implica personalización en el sentido de que los empaques se imprimen en diferentes idiomas. Al igual que los procesos pueden dividirse en partes con diferentes estructuras de proceso para cada una, los procesos de la cadena de suministro pueden segmentarse para lograr el desempeño óptimo.

Diseño de cadenas de suministro eficientes y con capacidad de respuesta La tabla 10.3 contiene las características básicas de diseño de las cadenas de suministro eficientes y las que tienen capacidad de respuesta. Cuanto más corriente abajo se encuentre la empresa en una cadena de suministro eficiente, tanto más probable será que tenga una estrategia de flujo lineal que soporte altos volúmenes de productos o servicios estandarizados. En consecuencia, los proveedores de las cadenas de suministro eficientes deben tener colchones de capacidad bajos, porque la alta utilización hace que los costos unitarios se mantengan en niveles bajos. Es deseable una alta rotación de inventario porque la inversión en inventario tiene que mantenerse baja para lograr tam-

TABLA 10.3 Características de diseño de cadenas de suministro eficientes y con capacidad de respuesta

Factor	Cadenas de suministro eficientes	Cadenas de suministro con capacidad de respuesta
Estrategia de operación	Fabricación para mantener en inventario o servicios y productos estandarizados; énfasis en volúmenes altos	Ensamblaje por pedido, fabricación para mantener en inventario, o servicios y productos personalizados; énfasis en la variedad
Colchón de capacidad	Bajo	Alto
Inversión en inventario	Baja; permite alta rotación de inventario	Según sea necesario para permitir tiempos de entrega rápidos
Tiempo de entrega	Abreviar, pero sin incrementar los costos	Abreviar drásticamente
Selección de proveedores	Énfasis en precios bajos, calidad consistente y entrega a tiempo	Énfasis en tiempo de entrega rápido, personalización, variedad, flexibilidad en volumen, calidad superior

bién costos bajos. Las empresas deben trabajar con sus proveedores para abreviar los tiempos de entrega, pero es preciso que tengan cuidado de que las tácticas utilizadas no incrementen apreciablemente los costos. Por ejemplo, los tiempos de entrega de un proveedor pueden acortarse si éste cambia el transporte ferroviario por la vía aérea; sin embargo, el costo adicional puede anular los ahorros obtenidos con el acortamiento de los tiempos de entrega. Al seleccionar a los proveedores, se debe prestar atención especial a los precios bajos, calidad consistente y entrega a tiempo. En virtud de que los colchones de capacidad son bajos, las interrupciones en una cadena de suministro eficiente suelen ser costosas y es necesario evitarlas.

En contraste, las empresas que tienen una cadena de suministro con capacidad de respuesta deben ser flexibles y tener colchones de capacidad altos. Los inventarios de trabajo en proceso deben posicionarse en la cadena de modo que propicien la velocidad en la entrega, pero deben evitarse los inventarios de bienes terminados costosos. Las empresas deben trabajar diligentemente con sus proveedores para acortar los tiempos de entrega, porque eso les permite esperar más tiempo antes de comprometerse con los pedidos de los clientes; en otras palabras, les da mayor flexibilidad. Las compañías deben seleccionar a los proveedores que apoyen las prioridades competitivas de los productos o servicios que proporcionan, lo que en este caso incluye la capacidad de realizar entregas con rapidez; personalizar servicios o componentes; ajustar con prontitud los volúmenes con la finalidad de acoplarlos a los ciclos de demanda; ofrecer variedad y brindar calidad superior. La exposición sobre Dell Inc., presentada al principio del capítulo, es un ejemplo del uso de una cadena de suministro con capacidad de respuesta para conseguir una ventaja competitiva.

El desempeño deficiente de las cadenas de suministro se debe muchas veces a que se usa un diseño de cadena de suministro inadecuado para los productos o servicios en cuestión. Un error muy común consiste en emplear una cadena de suministro eficiente en un ambiente en el cual se requiere una cadena de suministro con capacidad de respuesta. Con el paso del tiempo, las empresas pueden agregar opciones a su producto o servicio básico, o introducir variaciones, con lo cual la variedad de su oferta de productos o servicios aumenta de manera radical y la posibilidad de prever la demanda disminuye. No obstante, la empresa continúa midiendo el desempeño de su cadena de suministro igual que siempre, poniendo mayor atención en la eficiencia, aun cuando los márgenes de contribución permitirían un diseño de cadena de suministro con capacidad de respuesta. Resulta evidente que alinear las operaciones de la cadena de suministro con las prioridades competitivas de la empresa tiene implicaciones estratégicas.

PERSONALIZACIÓN MASIVA

La estrategia de operaciones de una compañía apoya ciertas prioridades competitivas que conseguirán pedidos de los clientes. A menudo, los clientes quieren algo más que una amplia variedad de servicios o productos estándar; quieren un servicio o producto personalizado y lo quieren pronto. Por ejemplo, suponga que desea pintar su sala de un nuevo color. Necesita complementar todos los muebles, adornos de las paredes y alfombra que ya tiene. Va a la tienda de pinturas cercana y selecciona un color de una pila de muestrarios que abarcan todos los colores del arco iris. La tienda puede darle toda la pintura que necesita en el color seleccionado mientras espera. ¿Cómo puede la tienda prestar ese servicio económicamente? Desde luego, la tienda no puede tener en existencia miles de colores en cantidades suficientes para realizar todos los trabajos que le soliciten. La tienda almacena los colores de base y los pigmentos por separado y los mezcla según las necesidades, con lo que puede ofrecer una variedad ilimitada de colores sin mantener el inventa-

personalización masiva
Estrategia en la cual los procesos flexibles de una empresa generan una gran variedad de servicios o productos personalizados a costos razonablemente bajos.

rio requerido para satisfacer las necesidades de colores específicas de cada cliente. La tienda de pintura practica una estrategia conocida como **personalización masiva,** en la cual los procesos flexibles de una empresa generan una gran variedad de servicios o productos personalizados a costos razonablemente bajos. En esencia, la empresa permite a los clientes seleccionar entre una variedad de opciones estándar para crear el servicio o producto de su preferencia.

Ventajas competitivas Una estrategia de personalización masiva tiene tres importantes ventajas competitivas.[3]

- *Administrar las relaciones con los clientes.* La personalización masiva requiere especificaciones detalladas de los clientes para poder producir el servicio o producto ideal. La empresa puede aprender mucho de sus clientes por los datos que recibe. Una vez que los clientes quedan registrados en la base de datos, la empresa puede darles seguimiento a través del tiempo. Por ejemplo, en el sitio Web de la compañía de muñecas My Twinn, las niñas pueden crear su muñeca en la pantalla, seleccionando el peinado, el color de la piel, el cabello y los ojos, las facciones de la cara y la ropa. Los artesanos pueden incluso igualar la cara de la muñeca a la de la niña a partir de una fotografía que se les proporcione. Una vez que el cliente recibe la muñeca hecha a la medida, My Twinn continúa vendiendo ropa y accesorios a medida que la muñeca "crece" con su gemela humana. Se obtiene una importante ventaja competitiva gracias a estas relaciones cercanas con los clientes que se basan en una estrategia de personalización masiva.
- *Eliminar el inventario de bienes terminados.* Producir algo por pedido de un cliente es más eficiente que producirlo según un pronóstico, porque los pronósticos no son perfectos. El truco radica en tener todo lo que se necesita para producir el pedido con rapidez. Una tecnología que algunas empresas emplean en su proceso de colocación de pedidos es un sistema de software llamado *configurador,* que da a las empresas y clientes acceso fácil a datos relacionados con las opciones disponibles para el servicio o producto. Tanto Dell como Gateway usan configuradores que permiten a los clientes diseñar su propia computadora a partir de un conjunto de componentes estándar que se mantienen en inventario. Una vez que se coloca el pedido, el producto se ensambla y en seguida se entrega. Mediante promociones de ventas, la empresa puede ejercer cierto control sobre las necesidades del inventario de componentes, ya que puede distraer la atención de los clientes de las opciones que no tiene en existencia y dirigirla hacia las opciones que están disponibles. Esta capacidad quita presión a la cadena de suministro y deja al cliente satisfecho.

  Los proveedores de servicios también aprovechan la personalización masiva para reducir el nivel del inventario. British Airways está tratando de personalizar el servicio a los clientes una vez que éstos han abordado el avión. Tiene un sistema de software que da seguimiento a las preferencias de sus clientes más favorecidos y registra hasta las revistas que éstos leen. Esta información permite a la aerolínea planear con más precisión qué llevar en cada vuelo. Esta información ahorra mucho dinero a la línea aérea porque así no incluye servicios que los pasajeros no quieren.
- *Aumentar el valor percibido de los servicios o productos.* Con la personalización masiva, los clientes pueden tener lo que desean. Pongamos por caso el ultraligero Swatchmobile de dos plazas, el producto europeo de una empresa conjunta entre DaimlerChrysler y el fabricante suizo de relojes Swatch. Los clientes usan un menú de componentes coordinados e intercambiables para diseñar su propio auto. Con sólo 13 proveedores que surten los módulos principales, el automóvil puede ensamblarse en sólo 4.5 horas, mucho menos que las 20 horas requeridas para el ensamblaje de la mayoría de los automóviles no modulares. La personalización masiva evita confusión y retrasos excesivos en la entrega, lo que permite ahorrar en costos. En general, la personalización masiva tiene un valor más alto en la mente del cliente que lo que cuesta producirla en realidad. Esta percepción permite a las empresas cobrar precios que proporcionan un buen margen de utilidad.

Empleados de la división Smart de DaimlerChrysler ensamblan un automóvil Smart Roadster en la planta de la compañía en Hambach, Francia. La empresa tiene un acuerdo único con sus proveedores: éstos proporcionan el equipo y personal a la planta para poder responder con rapidez a los cambios en las necesidades, apoyando así la personalización masiva del Swatchmobile.

Diseño de la cadena de suministro ¿Cómo la personalización masiva afecta el diseño de las cadenas de suministro? A continuación, se abordan tres importantes consideraciones. Primera, el diseño del proceso subyacente es una estrategia de ensamblaje por pedido. Esta estrategia comprende dos etapas en el abastecimiento del servicio o producto. Inicialmente, se producen los componentes estandarizados, o se compran y mantienen en inventario. Esta etapa es importante porque permite a la empresa producir o comprar estos

[3] Laurie J. Flynn, "Built to Order", *Knowledge Management,* 11 de diciembre de 2000, www.destinationkm.com.

artículos estándar en grandes volúmenes para mantener los costos en un nivel bajo. En la segunda etapa, la empresa ensambla estos componentes estandarizados de conformidad con el pedido de un cliente específico. En la personalización masiva, esta etapa debe ser flexible para manejar un gran número de posibles combinaciones, y ser capaz de producir el pedido con rapidez y precisión. Por ejemplo, para las muñecas personalizadas My Twinn, los clientes pueden elegir entre más de 325,000 combinaciones diferentes. Para garantizar la precisión, el cliente que accede al sitio Web atraviesa por una serie de pasos en los que selecciona las opciones deseadas y ve cómo va quedando la muñeca. La práctica administrativa 10.4 muestra cómo Lands' End implementó la personalización masiva y cómo la tecnología informática y de procesos desempeñó una función importante.

La segunda consideración es que el servicio o producto debe tener un diseño modular que permita la "personalización" que el cliente desea. Este método requiere atención cuidadosa al diseño de los servicios o productos para que el ensamblaje pueda realizarse de manera económica y rápida en respuesta al pedido de un cliente. Este concepto es útil para los proveedores de servicios así como para los fabricantes. Por ejemplo, The Ritz-Carlton, una cadena de hoteles de lujo, registra las preferencias expresadas por los clientes durante su estancia y las usa para adaptar los servicios que los clientes recibirán en su próxima visita. Las solicitudes de artículos como almohadas hipoalergénicas, toallas adicionales o incluso galletas de chocolate, se registran para uso futuro. Cuando el cliente se registra en el hotel, se agregan servicios especiales y bienes facilitadores al paquete personalizado de servicios.

Por último, las empresas que practican con éxito la personalización masiva aplazan la tarea de diferenciar el servicio o producto para un cliente específico hasta el último momento posible. El **aplazamiento** es un concepto organizacional donde algunas de las actividades finales en la prestación del servicio o producto se demoran hasta que se reciben los pedidos. Esto permite la mayor aplicación de módulos estándar del paquete de servicios o el producto antes de que se lleve a cabo la personalización específica. El aplazamiento es una decisión clave porque especifica dónde en el proceso se separarán las operaciones estandarizadas, orientadas al volumen, de las operaciones de ensamblaje, orientadas a la personalización. A veces, la personalización final ocurre en el último paso. Por ejemplo, Travelocity, una agencia de viajes de Internet, se creó alrededor

aplazamiento

Concepto organizacional donde algunas de las actividades finales en la prestación del servicio o producto se demoran hasta que se reciben los pedidos.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 10.4 PERSONALIZACIÓN MASIVA EN LANDS' END

¿Alguna vez ha pensado que sus pantalones vaqueros le quedarían mejor si fueran un poco más amplios aquí, un poco más estrechos allá, un poco más cortos o un poco más largos? ¿Se ha preguntado alguna vez cómo se sentiría usar un par de pantalones vaqueros hechos expresamente para su cuerpo? De ser así, Lands' End, un detallista de ventas por catálogo e Internet, de Dodgeville, Wisconsin, es lo que usted busca. He aquí cómo puede conseguir un par de pantalones vaqueros personalizados. Primero tendrá que llenar un breve perfil en línea, respondiendo unas cuantas preguntas sencillas acerca de cosas como su altura, peso, número de calzado y varios otros detalles sobre la forma de su cuerpo y hábitos de ejercicio; nada que requiera medidas complicadas. La información se ingresa a un programa altamente desarrollado de Archetype Solutions, Inc., para crear un modelo matemático de su cuerpo. La razón por la que no tiene que proporcionar muchos datos sobre su cuerpo es que el sistema hace uso de una base de datos de más de 5 millones de conjuntos detallados de medidas corporales para calcular todas las demás medidas necesarias para fabricar los pantalones. También tendrá que seleccionar opciones de bolsillos, estilos de ajuste y colores. En seguida, haga clic en "Enviar" y dentro de dos o tres semanas recibirá los pantalones en la puerta de su casa. Ah, algo más. Hay que pagar. Seguramente gastará 20 o 30 dólares *más* que lo que cuesta la versión estándar de los pantalones.

Su parte en el proceso es muy sencilla. Sin embargo, tras bastidores, las cosas son muy distintas. Lands' End decidió probar la personalización masiva con los pantalones vaqueros y caqui sólo para atraer publicidad y aumentar las ventas de sus otros productos. Qué sorpresa se llevó la administración cuando descubrió que las ventas en línea de pantalones caqui personalizados superaban por mucho las proyecciones y que 25% de los nuevos clientes compraban ropa personalizada. ¿Cómo funciona la personalización masiva en Lands' End? Cada noche, Lands' End reúne los pedidos colocados en su sitio Web y los envía por vía electrónica a Archetype, donde el software recrea el tamaño del cuerpo del cliente y la distribución del peso, toma en consideración las preferencias individuales de ajuste y adapta los patrones básicos de tela en consecuencia. Los archivos se envían entonces a un fabricante por contrato en México. El proveedor transfiere los patrones individuales al equipo de corte con control numérico, que corta una capa de tela a la vez. Después de que las diferentes partes de los pantalones se han cortado, se ponen en una bolsa y se envían a un proceso de costura de ocho máquinas, donde los pantalones pasan por una a la vez. En la última etapa del proceso se comprueban cinco medidas cruciales en cada par de pantalones. Si alguna de ellas es incorrecta, los pantalones de descartan y se vuelven a hacer. Las prendas se envían a granel a un centro de distribución para que pasen por la aduana estadounidense; después, se clasifican, empacan y envían por correo directamente a los clientes.

El éxito, sin embargo, no estuvo exento de algunos dolores de cabeza. Lands' End tuvo que capacitar a sus socios mexicanos fabricantes, que tuvieron que adquirir nueva maquinaria. El nuevo proceso de manufactura es muy diferente del que se usaba para producir cantidades masivas, que dependía del procesamiento en lotes. Pese a todo, la estrategia de personalización masiva está resultando muy rentable. Lands' End está ampliando la estrategia a las camisas y pantalones de vestir con sus socios de la República Dominicana y también está expandiendo la capacidad de fabricación de pantalones vaqueros y caqui en el Lejano Oriente.

Fuentes: David Drickhammer, "A Leg Up on Mass Customization", *Industry Week,* 1 de septiembre de 2002; Anne D'Innocenzio, "Lands' End Adds More Size Options Online", *The Mercury News,* 9 de septiembre de 2002; www.landsend.com.

del sistema de reservaciones de viaje Sabre, un sistema de base de datos estandarizado y masivo para buscar y reservar itinerarios de viaje. Por medio de un sistema ágil de interfaz con los clientes, Travelocity aplaza la organización real de los itinerarios hasta el último momento, cuando el cliente participa activamente en la elección de un paquete final. Travelocity usa sus bases de datos de manera eficaz para enviar por correo electrónico información sobre viajes a los clientes, así como para mantener las páginas de viaje personalizadas.

La estrategia de ensamblaje por pedido puede extenderse a las cadenas de suministro. Los costos de inventario y transporte determinan a menudo la medida en que el fabricante usa el aplazamiento en la cadena de suministro. Con el aplazamiento, los fabricantes evitan la acumulación de inventarios. Algunas empresas aprovechan un proceso llamado **ensamblaje de canal,** en el que los integrantes del canal de distribución actúan como si fueran estaciones de ensamblaje de la fábrica. Los centros de distribución o almacenes pueden realizar operaciones de personalización de último momento, después de haber recibido los pedidos específicos. Este método es especialmente útil cuando la personalización requerida se relaciona con cierta zona geográfica, como las diferencias de idioma o determinados requerimientos técnicos. Hewlett-Packard es un buen ejemplo. Esta empresa aplaza el ensamblaje de sus impresoras que requieren voltaje específico de un país y un manual del usuario en un idioma determinado, hasta el último paso del proceso, el cual lleva a cabo el distribuidor en la región donde se va a entregar la impresora. En general, aparte de las ventajas relativas al inventario, la ventaja del aplazamiento en el canal de distribución es que las plantas de la empresa pueden concentrarse en los aspectos estandarizados del producto, en tanto que el distribuidor se enfoca en personalizar un producto que tal vez necesite componentes adicionales de proveedores locales.

ensamblaje de canal

Proceso que utiliza a los integrantes del canal de distribución como si fueran estaciones de ensamblaje de la fábrica.

CADENAS DE SUMINISTRO ESBELTAS

Como se mencionó en el capítulo 9, “Sistemas Esbeltos”, el sistema de producción de Toyota se ha promocionado como el ejemplo por excelencia de un sistema de manufactura esbelta. El truco radica en aplicar esta “esbeltez” a la cadena de suministro. Sin embargo, una diferencia importante es que la empresa debe tratar ahora con clientes y proveedores independientes, en lugar de sus propios procesos internos. Un punto de partida es crear una cadena de suministro integrada, de la que ya se ha hablado, y aplicar sistemas esbeltos a todos los procesos internos. Aparte de eso, se requieren tres actividades fundamentales para tener una cadena de suministro esbelta.

- *Abastecimiento estratégico.* Sin importar si la empresa es un proveedor de servicios o un fabricante, un paso esencial es identificar los elementos o servicios que tienen alto valor o complejidad y comprarlos a un grupo selecto de proveedores con quienes la empresa establece una relación estrecha. Estos proveedores estratégicos deben ofrecer un excelente desempeño en cuanto a calidad y entrega. Los productos básicos que tienen bajo valor pueden adquirirse siguiendo métodos convencionales, como las licitaciones competitivas y subastas inversas.
- *Administración de costos.* El método tradicional para reducir los costos en la cadena de suministro es centrarse en la reducción de precios, la cual se logra mediante negociaciones difíciles. Al limitar el número de proveedores, el enfoque de cadena de suministro esbelta da a la empresa más tiempo para trabajar con sus proveedores estratégicos a fin de reducir los costos mediante la modificación de la estructura de costos y no negociando los precios. En términos realistas, reducir el margen de utilidad de un proveedor no es una estrategia eficaz a largo plazo. Ayudar al proveedor a reducir sus costos, dejando los márgenes intactos, le permite seguir siendo rentable y también reduce los precios para el comprador. Este método requiere el establecimiento de estándares de costos y colaborar con el proveedor para reducir los costos. Dicha colaboración es difícil de obtener porque exige confianza mutua, integridad y confidencialidad entre la empresa y el proveedor. No obstante, un programa eficaz de administración de costos ayuda a identificar áreas en las que se puede mejorar.
- *Desarrollo de proveedores.* El desarrollo de una cadena de suministro esbelta es un esfuerzo a largo plazo porque, en parte, requiere dejar de lado las negociaciones de precios y empezar a administrar los costos. Además, es posible que la empresa tenga que dedicar personal propio a trabajar con el proveedor para lograr operaciones esbeltas. Estos esfuerzos, aunque al principio son costosos, pueden producir mejoras espectaculares en los procesos, productividad de las operaciones, calidad y puntualidad en la entrega. Como es lógico, un esfuerzo de esta naturaleza debe centrarse en los proveedores estratégicos de la empresa.

Delphi, empresa que percibe ingresos de 28,000 millones de dólares y es líder mundial en aparatos electrónicos móviles, componentes de transporte y tecnología de sistemas, está recibiendo los beneficios de una cadena de suministro esbelta.[4] Los proveedores que participan en el

[4]R. David Nelson, “How Delphi Went Lean”, *Supply Chain Management Review,* noviembre-diciembre de 2004, pp. 32-37.

proceso están realizando las mismas mejoras de dos dígitos que Delphi, lo que incluye reducciones de entre 20 y 50% en los costos de mano de obra, aumentos en la productividad que van de 30 a 60% y mejor calidad la primera vez que suministran el servicio o producto, entre 10 y 45%.

OUTSOURCING* Y OFFSHORING

Todas las empresas compran a otros productores por lo menos algunos de los insumos necesarios para sus procesos (por ejemplo, servicios profesionales, materias primas o partes manufacturadas). La mayoría de las empresas también compran servicios para hacer llegar los productos a los clientes. ¿Cuántos de los procesos que producen estos artículos y servicios comprados debería tener y operar la propia empresa? La respuesta a esta pregunta determina el grado de integración vertical de la empresa. Cuantos más procesos de la cadena de valor desempeñe la propia organización, tanto mayor será su integración vertical. Si la empresa no lleva a cabo algunos procesos por sí misma, tendrá que depender del **outsourcing,** o pagar a proveedores y distribuidores para que realicen esos procesos y le proporcionen los servicios y materiales necesarios. Cuando los gerentes optan por una mayor integración vertical, entonces, por definición, habrá menos outsourcing. En ocasiones, a estas decisiones se les llama también **decisiones de fabricar o comprar,** de modo que la decisión de *fabricar* implica más integración y la decisión de *comprar* significa más outsourcing. Después de decidir qué se va a adquirir de fuentes externas y qué se fabricará dentro de la empresa, la gerencia debe hallar la manera de coordinar e integrar los diversos procesos y proveedores participantes.

outsourcing

Pagar a proveedores y distribuidores para que realicen procesos y proporcionen los servicios y materiales necesarios.

decisión de fabricar o comprar

Alternativa de la gerencia entre pagar a un proveedor externo para que realice un proceso o llevarlo a cabo de manera interna.

Integración vertical La integración vertical puede ser en dos direcciones. La **integración hacia atrás** representa un movimiento de la empresa corriente arriba, hacia las fuentes de materias primas, partes y servicios, por medio de adquisiciones, como sucede con una importante cadena de supermercados que tiene plantas para producir marcas propias de helado, pasta congelada para pizza y mantequilla de cacahuate. La **integración hacia delante** significa que la empresa adquiere más canales de distribución, es decir, sus propios centros de distribución (almacenes) y tiendas detallistas. También puede significar que la empresa va aún más lejos y adquiere sus propios clientes comerciales. Una empresa opta por la integración vertical cuando tiene las destrezas, volumen y recursos para cumplir las prioridades competitivas mejor que cualquier extraño. Realizar el trabajo dentro la estructura organizacional puede significar mejor calidad y más entregas puntuales, así como aprovechar mejor los recursos humanos, equipo y espacio de la empresa. Una integración vertical extensa es atractiva, por lo general, cuando los volúmenes de insumos son altos, porque los volúmenes altos permiten la especialización en las tareas y mayor eficiencia. También es atractiva si la empresa posee las destrezas pertinentes y considera que los procesos que está integrando son especialmente importantes para su éxito futuro.

integración hacia atrás

Movimiento de la empresa corriente arriba, hacia las fuentes de materias primas, partes y servicios, por medio de adquisiciones.

integración hacia delante

Adquirir más canales de distribución, es decir, centros de distribución (almacenes) y tiendas detallistas, o incluso clientes industriales.

La gerencia debe identificar, cultivar y explotar sus competencias centrales para enfrentar con éxito la competencia global. Recuerde que las competencias centrales son el aprendizaje colectivo de la empresa, en especial en lo que se refiere a su capacidad de coordinar diversos procesos e integrar múltiples tecnologías. Son lo que define a la empresa y constituyen la razón de su existencia. La gerencia debe prestar atención constante a fortalecer las competencias centrales, tal vez mirando corriente arriba hacia sus proveedores y corriente abajo hacia sus clientes, y adquiriendo todos los procesos que apoyen sus competencias centrales: aquellas que permiten a la empresa organizar el trabajo y entregar valor mejor que sus competidores. De lo contrario, se corre el riesgo de que la empresa pierda control sobre las áreas críticas de su negocio.

Outsourcing A pesar de los argumentos a favor de una mayor integración vertical, muchas empresas están subcontratando procesos importantes. El banco NCNB de Charlotte, Carolina del Norte, subcontrató el procesamiento de las transacciones realizadas con tarjeta de crédito y ahorró 5 millones de dólares al año. Merril Lynch, Sears Roebuck y Texaco subcontratan sus operaciones de correspondencia y fotocopiado a Pitney Bowes Management Services. Muchas empresas hacen lo mismo con sus nóminas de pago, seguridad, limpieza y otros tipos de servicios, en lugar de emplear personal para que preste estos servicios. Una encuesta reciente mostró que 35% de más de 1,000 corporaciones grandes han incrementado su outsourcing. El uso del outsourcing es particularmente atractivo para las empresas que tienen volúmenes bajos. Por ejemplo, LoanCity.com, una compañía de Internet que otorga préstamos hipotecarios, inició sus operaciones en agosto de 1999. Comenzó recibiendo cero ingresos, pero planeaba atender a más de un millón de clientes en unos pocos años. Toda operación de Internet de tal magnitud requeriría un centro de cómputo con crecimiento desordenado, el cual requeriría, a su vez, algunos millones de dólares en hardware, licencias de software y personal compuesto por hasta 20 especialistas. En cambio, la compañía contrató un proveedor de servicios de aplicaciones (ASP, del inglés *application service provider*) para instalar y ejecutar los diferentes paquetes de software empresarial necesarios para manejar sus procesos de ventas, contabilidad y recursos humanos. Los empleados de LoanCity usan

*N del RT En la actualidad, con frecuencia se usa el término *subcontratación* como sinónimo de *outsourcing*, pero se utilizará el término en inglés pues ya es de uso común

Internet para conectarse a las aplicaciones que necesitan y que están instaladas en máquinas ubicadas en el ASP.

¿Qué orilló a esas empresas a subcontratar en lugar de integrarse verticalmente? Estas empresas comprendieron que otras podían realizar el proceso subcontratado de manera más eficiente y con mejor calidad que ellas. Optaron por agregar proveedores externos a sus cadenas de suministro en vez de mantener proveedores internos. Sin embargo, la decisión de recurrir al outsourcing es muy seria porque la empresa puede perder las habilidades y conocimientos necesarios para realizar el proceso. Todo el aprendizaje relativo a los adelantos del proceso se deja al socio de outsourcing, lo que dificulta volver a integrar dicho proceso a la empresa.

offshoring
Estrategia de cadena de suministro que implica trasladar los procesos a otro país.

Offshoring La estrategia de globalización de una empresa añade una nueva dimensión al desarrollo de las cadenas de suministro. El **offshoring** es una estrategia de cadena de suministro que implica trasladar los procesos a otro país. Como tal, el offshoring es más extenso que el outsourcing porque incluye también la integración vertical al localizar procesos internos en otros países. La motivación de las empresas para iniciar operaciones en el extranjero es el potencial de mercado y las ventajas en costos que esto ofrece. La empresa puede crear nuevos mercados gracias a su presencia en otros países y su capacidad de ofrecer precios competitivos debido a sus eficiencias en costos. Otras prioridades competitivas, aparte de los costos bajos, como la rapidez en las entregas a clientes que se encuentran en lugares distantes, pueden impulsar la decisión también. En cuanto a los costos, varios factores inciden en la estrategia de offshoring.

- *Costos comparativos de mano de obra.* Algunos países tienen una enorme ventaja cuando se trata de los costos de mano de obra. Dos países que tienen una ventaja considerable en este respecto son India y China. En India, el salario de un programador informático equivale aproximadamente a una sexta parte de lo que ganaría un programador con competencias comparables en Estados Unidos. No es de sorprender que las empresas trasladen los procesos de programación a India. En China, los salarios mensuales son, en promedio, 4% más bajos que los de Japón. En general, las empresas pueden ahorrar entre 30 y 50% en costos de mano de obra si trasladan sus procesos a países que ofrecen mano de obra barata.
- *Costos de logística.* Incluso si los costos de mano de obra no son favorables, puede ser menos costoso trasladar los procesos a otros países para reducir los costos logísticos de entregar los productos a clientes internacionales. Por ejemplo, Hewlett-Packard subcontrató el ensamblaje final de un servidor en Singapur y Australia, dos países que tienen costos altos, para estar más cerca de los clientes que pretende captar en Australia y el sureste de Asia. Los ahorros en los costos de logística compensan los costos de mano de obra más altos en estos países.
- *Aranceles e impuestos.* Algunos países ofrecen incentivos fiscales a las empresas que operan dentro de sus fronteras. Los aranceles también pueden ser un obstáculo para las empresas que quieren hacer negocios en un país. A veces son tan altos que la empresa prefiere ensamblar los productos en ese país en lugar de exportarlos a ese país. Por esa razón, Hewlett-Packard decidió ensamblar un producto en India con partes importadas para venta a los clientes indios.
- *Leyes laborales y sindicatos.* En algunos países hay menos sindicatos o restricciones sobre el uso flexible de la mano de obra. La capacidad de usar trabajadores para realizar varias tareas sin ninguna restricción puede ser importante para las empresas que tratan de flexibilizar sus operaciones. No obstante, las empresas deben conocer bien las leyes laborales y costumbres locales y esforzarse por alcanzar un alto nivel de comportamiento ético cuando realizan operaciones en otros países.
- *Internet.* Internet reduce los costos de transacción de administrar socios u operaciones distantes.

Aunque la práctica de offshoring parece ofrecer grandes ventajas, también tiene algunos inconvenientes que las empresas deben estudiar con cuidado antes de seguir esta estrategia.

- *Darse por vencido demasiado pronto.* Un error grave es decidir trasladar un proceso a otro país antes de realizar un esfuerzo de buena fe por arreglar el proceso existente. Se mencionaron varias maneras de mejorar los procesos en las partes 1 y 2 de este texto; estos métodos deben explorarse primero. El offshoring o el outsourcing no siempre son la respuesta, incluso si los salarios locales superan con mucho los de otros países. Por ejemplo, Canon decidió mantener sus procesos de fabricación en Japón en lugar de trasladarlos a otros países de bajo costo en el sureste de Asia. La estrategia consiste en competir en innovaciones tecnológicas por medio de su línea de cámaras caras. Para realizar esta estrategia, Canon mantuvo su proceso de desarrollo de nuevos productos y su proceso de fabricación cerca el uno del otro para apoyar el lanzamiento rápido de nuevos productos al mercado y facilitar la comunicación entre los ingenieros y los gerentes de fabricación. Para mejorar su proceso de fabricación, Canon

eliminó sus líneas de ensamblaje y las sustituyó con celdas de fabricación; con esto, mejoró el trabajo en equipo, redujo los inventarios y los costos de fabricación y aumentó su capacidad de hacer productos innovadores con mayor rapidez. La moraleja: hay que asegurarse de que en realidad se necesita el offshoring para realizar la estrategia de operaciones.

- *Transferencia de tecnología.* Con frecuencia, una estrategia de offshoring implica crear una *empresa conjunta* con una compañía de otro país. En una empresa conjunta, dos compañías se comprometen a producir conjuntamente un producto o servicio. Típicamente, tiene lugar una transferencia de tecnología para poner al día a uno de los socios en relación con el servicio o producto. El peligro radica en que lo que la empresa que tiene la ventaja tecnológica hace en realidad es preparar a la otra para que sea un futuro competidor. Por ejemplo, GM estableció una empresa conjunta con Shanghai Auto Industry Corporation (SAIC) para producir los automóviles Buick. SAIC obtuvo una licencia para usar la pericia técnica de GM en la forma de diagramas, planos, datos matemáticos y archivos informáticos. A medida que GM desarrolla la capacidad local de ingeniería de diseño, transfiere conocimientos técnicos al personal chino. Debido a que SAIC planea desarrollar y producir sus propios automóviles, es posible que GM y otros socios de la empresa conjunta con SAIC estén creando un nuevo competidor en China.
- *Integración de procesos.* A pesar del poder de Internet, es difícil integrar por completo los procesos en otros países con los demás procesos de la empresa. El tiempo, la distancia y la comunicación pueden ser obstáculos formidables. La administración de los procesos en el extranjero no es igual que administrar los procesos localizados a la vuelta de la esquina. Con frecuencia, es necesario que la gerencia invierta mucho tiempo en coordinar los procesos en otros países.

CADENAS DE SUMINISTRO VIRTUALES

El advenimiento de Internet abrió todo un nuevo grupo de oportunidades para el diseño de la cadena de suministro. Muchas compañías rediseñan sus cadenas de suministro para subcontratar una parte de su proceso de surtido de pedidos con la ayuda de paquetes de apoyo de tecnología informática muy avanzada, basados en Web. En efecto, estas compañías administran los aspectos referentes al surtido de pedidos como si el proceso estuviera ubicado dentro de la empresa. Nike, por ejemplo, coordina la fabricación y distribución de su línea de ropa deportiva y calzado atlético en todo el mundo, sin ser propietario de las instalaciones responsables de realizar estos procesos. Este enfoque permite a Nike concentrarse en sus procesos centrales de relaciones con los clientes y desarrollo de nuevos productos. Alrededor de 30% de todos los comerciantes detallistas de Internet adoptan la idea de las cadenas de suministro virtuales mediante el uso de una técnica llamada *embarques directos,* que consiste en que el detallista pasa los pedidos de los clientes directamente al mayorista o fabricante, quien envía el pedido directamente al cliente con la etiqueta del detallista en el producto. Estos detallistas subcontratan sus operaciones de almacenamiento para evitar los costos de mantener inventarios propios.

Los beneficios de usar cadenas de suministro virtuales incluyen los siguientes:

- *Menor inversión en inventarios e infraestructura para el surtido de pedidos.* La inversión en inventario, equipo, almacenes y personal para operar el proceso de surtido de pedidos es considerable. La empresa debe generar altos volúmenes para que la inversión sea redituable.
- *Mayor variedad de servicios o productos.* Sin los gastos generales que genera un proceso propio de surtido de pedidos, la empresa tiene más libertad para seleccionar entre una amplia variedad de mayoristas, proveedores de servicios y fabricantes, lo cual da a la empresa la flexibilidad para ajustar las prioridades competitivas dinámicas.
- *Costos más bajos debido a las economías de escala.* El proveedor maneja, en general, más volumen que la empresa que hace el outsourcing porque tal vez tiene varios clientes del mismo servicio o producto. Este volumen adicional abre la posibilidad de que los costos de la empresa que hace el outsourcing sean mucho menores que si el proceso de surtido de pedidos se realizara internamente.
- *Costos más bajos de transporte.* Los comerciantes detallistas adquieren la ventaja de tener costos más bajos de transporte. Tradicionalmente, los detallistas pagan costos de transporte para adquirir los bienes de un mayorista y después pagan para que los bienes sean enviados al cliente. Con los embarques directos en una cadena de suministro virtual, el único costo de transporte es el de enviar los bienes del mayorista al cliente.

Las cadenas de suministro virtuales no son la panacea para todos los problemas que los proveedores de servicios o fabricantes enfrentan al diseñar sus cadenas de suministro. Primero, la falta de transparencia de la información entre una empresa y su socio de surtido de pedidos puede ocasionar problemas de atención al cliente. Por ejemplo, la empresa necesita saber si el socio que

realiza el proceso de surtido de pedidos cuenta con el inventario necesario para realizar una venta o si tiene capacidad suficiente para prestar un servicio crucial. Es posible que resulte prohibitivo adquirir el software apropiado. En segundo término, el outsourcing del proceso de surtido de pedidos deja a la empresa que realiza el outsourcing en una posición vulnerable al *racionamiento de pedidos* por parte del socio de surtido de pedidos. El racionamiento de pedidos ocurre cuando el socio de surtido de pedidos no tiene capacidad o inventario suficiente para satisfacer todos los pedidos de los clientes e impone un proceso de racionamiento a todos los clientes. Por último, una mayor transparencia de la información entre la empresa y su socio de surtido de pedidos plantea el riesgo de que el segundo pueda usar la información y pasar por alto a la empresa para ir directamente con los clientes.

Los diseñadores de la cadena de suministro deben elegir entre el método tradicional, en el cual el proceso de surtido de pedidos se mantiene dentro de la empresa, y la cadena de suministro virtual. El método tradicional se prefiere en las siguientes circunstancias:

- *Los volúmenes de venta son altos.* Los volúmenes se necesitan para compensar los altos costos de la infraestructura. También puede tratarse de una medida estratégica. Si una empresa desea crecer y dominar su industria, es importante que mantenga el proceso de surtido de pedidos dentro de la empresa.
- *La consolidación de los pedidos es importante.* Las cadenas de suministro virtuales pierden su atractivo si se necesitan muchos proveedores para satisfacer un solo pedido. La coordinación es difícil y los costos de transporte aumentan debido a las ineficiencias en el envío. Con el método tradicional, la empresa tiene sus propios almacenes y puede coordinar los suministros de un gran grupo de proveedores. No obstante, la necesidad de consolidar los pedidos en las cadenas de suministro virtuales abre la oportunidad para los *proveedores terceros logísticos (3PL,* del inglés *third-party logistics providers*). Por ejemplo, FedEx se asoció con Cisco para coordinar los embarques de muchos proveedores independientes y asegurar que todos los componentes de los principales sistemas llegaran al cliente en un lapso breve.
- *La capacidad de surtido de pedidos pequeños por parte del proveedor es importante.* Tal vez sea necesario conservar el proceso de surtido de pedidos, en particular en las operaciones de almacenamiento, si es importante para los clientes que operan con cantidades pequeñas y los proveedores no tienen la capacidad de manejar pedidos pequeños. Aunque la tecnología de surtido de pedidos pequeños se está volviendo cada vez más común, los fabricantes de muchas industrias aún no cuentan con esa capacidad. La industria de los bienes duraderos es un buen ejemplo.

El método de la cadena de suministro virtual se prefiere en estas circunstancias:

- *La demanda es muy volátil.* La demanda volátil presenta riesgos para mantener inventarios, que pueden resultar muy costosos para una empresa. Un método más rentable puede ser encontrar un proveedor que abastezca el mismo artículo a otras empresas que tienen incertidumbre parecida en su demanda. Los proveedores pueden suavizar las fluctuaciones aleatorias en la demanda de múltiples clientes y proporcionan un artículo a precio rentable, con menos riesgo de sufrir desabasto.
- *Es importante tener una gran variedad de servicios o productos.* Asociarse con un proveedor puede ampliar espectacularmente la provisión de servicios o productos. Por ejemplo, una tienda típica de Circuit City maneja entre 500 y 3,000 títulos de películas. Cuando la gerencia diseñaba la presencia de la compañía en Internet, descubrió que los compradores de Internet esperaban tener una variedad de aproximadamente 55,000 títulos entre los cuales elegir. La solución consistió en asociarse con otra compañía para ofrecer la variedad de productos requerida. Los compradores que usan CircuitCity.com ahora colocan pedidos de títulos de películas, que serán surtidos con inventarios virtuales.

Las ventajas y desventajas del método tradicional para realizar el proceso de surtido de pedidos y las de las cadenas de suministro virtuales son consideraciones importantes para una empresa. Esta decisión tiene otras dos implicaciones: primera, en una cadena de suministro virtual se cede el control directo del proceso de surtido de pedidos a otras empresas. En consecuencia, es importante establecer la relación contractual que corresponda con los miembros de la cadena de suministro virtual. Las alianzas estratégicas, asociaciones y contratos a largo plazo ofrecen mucho más control que los contratos a corto plazo. Cuanto más importante sea una actividad para la realización de las prioridades competitivas de una empresa, tanto mayor será el grado de control que la empresa necesita. En segundo lugar, las cadenas de suministro virtuales dan a la empresa más flexibilidad para cambiar el diseño de sus paquetes de servicios o sus productos porque la empresa no tiene la onerosa inversión en gastos generales que representa el proceso de surtido de pedidos. La empresa necesita sopesar la necesidad de control y la necesidad de flexibilidad al elegir el diseño de la cadena de suministro.

El concepto de las cadenas de suministro virtuales se transfiere a las cadenas de valor, que incluyen vínculos con procesos auxiliares. La práctica administrativa 10.5 muestra cómo una compañía encontró un nicho de mercado al proporcionar servicios a corporaciones grandes y, con ello, se convirtió en un importante proveedor de las cadenas de valor de sus clientes.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 10.5 HCL CORPORATION ES PROVEEDOR DE PROCESOS DE SERVICIOS EN CADENAS DE VALOR DE VIRTUALES

HCL Corporation es un grupo transnacional de 600 millones de dólares, con intereses en computadoras, redes, automatización de oficinas, integración de sistemas, servicios de software, consultoría y educación basada en computadoras. Con grandes centros tecnológicos localizados en India, la compañía tiene empresas conjuntas, sociedades y alianzas estratégicas con una gran cantidad de gigantes internacionales, como Hewlett-Packard, Perot Systems Corporation, Microsoft, Cisco y Cigna Corporation. HCL trabaja con sus clientes para diseñar ciertos procesos empresariales y luego los opera desde ubicaciones remotas en todo el mundo. Con la ayuda de tecnología avanzada y conexiones a Internet de alta velocidad, los procesos forman parte de la cadena de valor virtual de los clientes. Los procesos que HCL administra para sus clientes en las cadenas de valor virtuales incluyen servicios de soporte de procesos y servicios de centros de contacto, entre muchos otros en las áreas de ventas, marketing y desarrollo de software.

Soporte de procesos

HCL brinda a sus clientes la oportunidad de subcontratar los servicios de soporte de procesos, como los servicios de recursos humanos, contabilidad y transacciones.

- *Servicios de recursos humanos*. Representantes nacionales de servicio de HCL tienen conocimientos acerca de las políticas, normas y reglamentaciones sobre recursos humanos que rigen en el país en cuestión, además de habilidades para comunicarse y conocimiento del idioma. Los servicios que HCL proporciona incluyen: administración de atención médica y prestaciones, administración de expedientes de personal, administración y elaboración de solicitudes de visas, administración de currículos y nómina. HCL también puede proporcionar a los clientes un servicio completo de asistencia secretarial habilitado en Web. Por ejemplo, una tarea de trabajo para un cliente de un cliente de HCL, una compañía de servicios secretariales en línea en el Reino Unido, va a la *trastienda* de HCL localizada en India, donde sigue un proceso definido, se envía de nuevo a un equipo en la empresa del cliente y, por último, regresa al cliente del cliente. Estos servicios se proporcionan las 24 horas del día desde un centro situado en India; sin embargo, el centro podría estar situado en cualquier parte del mundo.
- *Servicios de contabilidad.* Los clientes pueden subcontratar por completo sus procesos de contabilidad y los servicios se llevan a cabo en cualquier parte del mundo. Para realizar esta hazaña, HCL debe tener las competencias necesarias para comprender las disposiciones legales y reglamentarias que rigen las actividades del cliente. Los servicios típicos incluyen el manejo de las cuentas por cobrar, contabilidad general, facturación, crédito y cobranza, cuentas por cobrar, contabilidad de activos fijos y contabilidad de viáticos.
- *Servicios de transacción.* La velocidad y la precisión son importantes en estos servicios. HCL necesita capacidad de respuesta para atender las solicitudes de los clientes de su cliente. Los servicios típicos incluyen mantenimiento de bases de datos de clientes, respuestas a clientes por correo electrónico, correspondencia con los clientes, captura de aplicaciones, procesamiento de quejas y seguros.



Muchas compañías subcontratan sus servicios de transacción, los cuales pueden proporcionarse desde cualquier lugar del mundo.

Servicios de centros de contacto

Las compañías pueden subcontratar sus servicios de contacto con los clientes; sin embargo, se trata de una decisión que debe meditarse muy bien debido al alto nivel de interacción personal con los clientes. HCL y otras compañías que se dedican a este negocio deben contar con personal altamente calificado que hable el idioma, tenga habilidad para interaccionar y conozca los diferentes acentos. Una de las principales ventajas de los centros de contacto habilitados en Web es que el cliente tiene acceso las 24 horas del día, los siete días de la semana, lo cual es importante en las operaciones globales. Los servicios típicos incluyen encuestas, asistencia técnica, captura de pedidos, cobranza, verificación, llamadas de autorización y consultas de los clientes.

HCL Corporation es sólo un ejemplo de una empresa que encontró un nicho de mercado al hacer factibles las cadenas de valor virtuales para varias de compañías importantes.

Fuentes: www.perotsystems.com, 2001; HCL Perot Systems; www.hcltech.com, 2004.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS EN INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

ECUACIONES CLAVE

1. $$\text{Semanas de aprovisionamiento} = \frac{\text{Valor promedio del inventario agregado}}{\text{Ventas semanales (al costo)}}$$

2. $$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Ventas anuales (al costo)}}{\text{Valor promedio del inventario agregado}}$$

TÉRMINOS CLAVE

administración de la cadena de suministro 372
agrupación de inventarios 386
análisis de valor 393
aplazamiento 399
aprovisionamiento previo 393
bienes terminados (FG) 376
bolsa de comercio 392
cadena de suministro 372
centros de catálogos electrónicos 391
colocación centralizada 386
colocación hacia delante 386
comercio electrónico (e-commerce) 383
compras 390
compras ecológicas 390
cruce de andén 389
decisiones de fabricar o comprar 401
efecto de látigo 381
ensamblaje de canal 400
estrategia de cadena de suministro 372
fuente única de abastecimiento 391
identificación por radiofrecuencia (RFID) 387
integración hacia atrás 401
integración hacia delante 401
intercambio electrónico de datos (EDI) 391
inventario 374
inventarios administrados por proveedores (VMI) 386
materias primas (RM) 376
offshoring 402
orientación competitiva 390
orientación cooperativa 391
outsourcing 401
participación temprana del proveedor 393
personalización masiva 398
programa de reabastecimiento continuo (CRP) 387
rotación de inventario 378
semanas de aprovisionamiento 377
subasta 392
trabajo en proceso (WIP) 376
valor promedio del inventario agregado 376

PROBLEMA RESUELTO 1

El costo de los bienes vendidos por una empresa durante el año pasado fue de $3,410,000, y dicha empresa trabaja 52 semanas al año. Su inventario se compone de siete elementos: tres de ellos son materias primas, dos son trabajo en proceso y los otros dos son bienes terminados. La tabla siguiente indica cuál fue el nivel de inventario promedio de cada elemento el año pasado y su respectivo valor.

a. ¿Cuál es el valor promedio del inventario agregado?

b. ¿Cuántas semanas de aprovisionamiento mantiene esta empresa en su inventario?

c. ¿Cuál fue la rotación de inventario durante el último año?

Categoría	Número de parte	Nivel promedio	Valor unitario
Materias primas	1	15,000	$ 3.00
	2	2,500	5.00
	3	3,000	1.00
Trabajo en proceso	4	5,000	14.00
	5	4,000	18.00
Bienes terminados	6	2,000	48.00
	7	1,000	62.00

SOLUCIÓN

a.

Número de parte	Nivel promedio		Valor unitario		Valor total
1	15,000	×	$3.00	=	$ 45,000
2	2,500	×	5.00	=	12,500
3	3,000	×	1.00	=	3,000
4	5,000	×	14.00	=	70,000
5	4,000	×	18.00	=	72,000
6	2,000	×	48.00	=	96,000
7	1,000	×	62.00	=	62,000
	Valor promedio del inventario agregado			=	$360,500

b. Promedio de ventas semanales al costo = \$3,410,000/52 semanas = \$65,577/semana

$$\text{Semanas de aprovisionamiento} = \frac{\text{Valor promedio del inventario agregado}}{\text{Ventas semanales (al costo)}} = \frac{\$360{,}500}{\$65{,}577} = 5.5 \text{ semanas}$$

c. $$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Ventas anuales (al costo)}}{\text{Valor promedio del inventario agregado}} = \frac{\$3{,}410{,}000}{\$360{,}500} = 9.5 \text{ rotaciones}$$

> PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN <

1. De acuerdo con la Iniciativa de la Industria de Defensa sobre Ética y Conducta en los Negocios, 46 contratistas se comprometieron a establecer códigos internos de ética, realizar sesiones de capacitación e informar sobre los presuntos abusos.
   a. ¿Es esta iniciativa un ejemplo de avance hacia la adopción de relaciones competitivas o cooperativas con los proveedores?
   b. Supongamos que usted está a cargo de administrar contratos de la defensa nacional y que tiene una amiga en el ejército a la cual conoce desde hace 20 años. En un gesto de amistad, ella le comunica información privilegiada útil sobre una licitación presentada por un contratista que compite con usted. ¿Qué haría usted en ese caso, si su empresa formara parte del proyecto de ética de la industria? ¿Y si su empresa no participara en dicho proyecto?
   c. Para cultivar una relación en la que todos resultaran beneficiados, las fuerzas armadas celebraron convenios con sus proveedores para reembolsarles a éstos los costos de los cursos de capacitación y los programas para levantar la moral de los empleados. De acuerdo con ese convenio, la compañía para la que usted trabaja decidió organizar una fiesta privada para "levantar la moral" de los empleados. Sabiendo que los gastos les serían reembolsados, los organizadores de la fiesta no fueron muy cuidadosos en sus preparativos y se extralimitaron. Alquilaron el auditorio municipal y contrataron un grupo musical famoso en todo el país para que amenizara la reunión. Además, los organizadores no realizaron correctamente la negociación del contrato y terminaron pagando una tarifa cinco veces más alta por esos servicios. La cuenta de gastos de la fiesta acaba de llegar a su escritorio, se gastaron en ella ¡\$250,000! De conformidad con las cláusulas del convenio, su compañía tiene derecho al reembolso total de esa suma. ¿Qué debe hacer?
2. DaimlerChrysler y General Motors compiten vigorosamente entre sí en muchos mercados de automóviles y camiones. Cuando José Ignacio López era vicepresidente de compras de GM advirtió con toda claridad a sus empleados de compras que no debían aceptar las invitaciones a comer que les hicieran los proveedores. Thomas Stalcamp, jefe de compras de Chrysler antes de la fusión con Daimler, ordenó a su personal de compras que invitara a comer a los proveedores. Analice estas dos directrices a la luz del diseño y la administración de la cadena de suministro.
3. La cadena de tiendas de venta al detalle Wal-Mart disfruta de un gran poder de negociación con sus proveedores. Por su parte, la cadena de tiendas detallistas The Limited es propietaria de Mast Industries, la compañía que está a cargo de producir muchos de los artículos de moda que The Limited vende en sus tiendas. Esta última cadena se jacta de que en sólo 1,000 horas es capaz de ir de la fase del concepto de una nueva prenda hasta la colocación de la misma en los anaqueles de las tiendas. Compare y contraste las consecuencias de estos dos sistemas de comercio al detalle en la administración de sus respectivas cadenas de suministro.
4. Canon, un fabricante japonés de equipo fotográfico, decidió no trasladar a otros países sus procesos de desarrollo de nuevos productos y fabricación, sino que prefirió mantenerlos en Japón, donde los costos de mano de obra son relativamente altos. En contraste, GM, que tiene su sede en Estados Unidos, estableció una empresa conjunta con Shanghai Auto Industry Corporation para producir automóviles en China. Dada la exposición que se presentó en este capítulo sobre el offshoring y las estrategias de cadena de suministro, explique por qué estas dos compañías optaron por seguir caminos diferentes en sus cadenas de suministro.

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software en inglés, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Buzzrite, una cadena de tiendas de venta al detalle de ropa informal, concluyó el año en curso con ventas anuales (al costo) de $48 millones. Durante el año, hubo más de seis rotaciones del inventario de prendas. Para el año próximo, Buzzrite planea incrementar sus ventas anuales (al costo) en 25%.
   - **a.** ¿Cuál será el incremento requerido en el valor promedio del inventario agregado si Buzzrite continúa con la misma rotación de inventario durante el año próximo?
   - **b.** ¿Qué cambio en el número de rotaciones de inventario necesitará introducir Buzzrite si, mediante una mejor administración de la cadena de suministro, quiere apoyar las ventas del año entrante sin elevar el valor promedio del inventario agregado?

2. Jack Jones, gerente de materiales de Precision Enterprises, está empezando a buscar la forma de reducir sus inventarios. Un estado de contabilidad reciente muestra la siguiente inversión en inventario, por categorías: materias primas, $3,129,500; trabajo en proceso, $6,237,000; y bienes terminados, $2,686,500. El costo de los bienes vendidos en el transcurso de este año será de $32.5 millones aproximadamente. Suponiendo 52 semanas de trabajo al año, exprese el inventario total en términos de:
   - **a.** Semanas de aprovisionamiento.
   - **b.** Rotaciones de inventario.

3. Una línea de productos tiene 10 rotaciones de inventario al año y un volumen anual de ventas (al costo) de $985,000. ¿Qué cantidad de inventario se mantiene en promedio en esta compañía?

4. Bawl Corporation suministra cojinetes de bolas, hechos de una aleación especial, a los fabricantes de automóviles de Detroit. En virtud de su proceso de manufactura especializado, requiere volúmenes considerables de inventario de trabajo en proceso y materias primas. Los niveles actuales de inventario son de $2,470,000 y $1,566,000, respectivamente. Además, el inventario de bienes terminados es de $1,200,000, y para el año en curso se espera que las ventas (al costo) asciendan a $48 millones. Exprese el inventario total en términos de:
   - **a.** Semanas de aprovisionamiento.
   - **b.** Rotaciones de inventario.

5. Se han recopilado los siguientes datos acerca de un comerciante al detalle:

Costo de los bienes vendidos	$3,500,000
Utilidad bruta	$ 700,000
Costos de operación	$ 500,000
Utilidades de la operación	$ 200,000
Inventario total	$1,200,000
Activos fijos	$ 750,000
Deuda a largo plazo	$ 300,000

   Suponiendo 52 semanas de trabajo al año, exprese el inventario total en términos de:
   - **a.** Semanas de aprovisionamiento.
   - **b.** Rotaciones de inventario.

PROBLEMAS AVANZADOS

Los problemas 6 y 7 requieren la lectura del suplemento A, "Toma de decisiones".

6. Para adquirir una de sus materias primas fundamentales, The Bennet Company dispone de tres proveedores. La política actual de Bennet consiste en distribuir sus compras por igual entre los tres. El hijo del propietario. Benjamín Bennet, acaba de graduarse de una escuela superior de administración. Este joven ha propuesto que se califique a los tres proveedores de la empresa de acuerdo con seis criterios de desempeño (en este caso, las cifras más altas significan buen desempeño), ponderados como se aprecia en la tabla 10.4. Se ha propuesto una calificación total de 0.60 como el límite admisible para seleccionar a los proveedores. La política de compras de la compañía tendría que revisarse para pedir las materias primas a los proveedores que obtengan calificaciones de desempeño superiores al límite de calificación total predeterminado, en proporción a las calificaciones de desempeño que cada uno obtenga.

TABLA 10.4 Calificaciones de desempeño de los proveedores de Bennet

			Ponderación	
Criterio de desempeño	**Calificación**	**Proveedor A**	**Proveedor B**	**Proveedor C**
1. Precio	0.2	0.6	0.5	0.9
2. Calidad	0.2	0.6	0.4	0.8
3. Entrega	0.3	0.6	0.3	0.8
4. Instalaciones de producción	0.1	0.5	0.9	0.6
5. Política de garantías y quejas	0.1	0.7	0.8	0.6
6. Situación financiera	0.1	0.9	0.9	0.7

TABLA 10.5 Calificaciones de desempeño de los proveedores de Beagle

Criterio	Proveedor A	Proveedor B	Proveedor C
Precio	8	6	6
Calidad	9	7	7
Entrega	7	9	6
Flexibilidad	5	8	9

a. Use una matriz de preferencias para calcular la calificación ponderada total que corresponde a cada proveedor.
b. ¿Cuál o cuáles de los proveedores lograron superar la calificación total que se ha impuesto como límite de admisión? De acuerdo con la política propuesta por el joven Bennet, ¿qué proporción de los pedidos tendría que recibir cada uno de esos proveedores?
c. ¿Qué ventajas ofrece la política propuesta en comparación con la política actual?

7. Beagle Clothiers utiliza una calificación ponderada para la evaluación y selección de sus proveedores de prendas de vestir de moda. Se califica a cada proveedor con base en una escala de 10 puntos (10 = el más alto), en función de cuatro criterios diferentes: precio, calidad, entrega y flexibilidad (para ajustarse a los cambios en las cantidades y plazos de entrega). Considerando la volatilidad del negocio en el que Beagle se desenvuelve, a la flexibilidad se le ha concedido una ponderación equivalente al doble de la que corresponde a los otros tres criterios, los cuales tienen ponderaciones iguales. La tabla 10.5 muestra las calificaciones obtenidas por tres posibles proveedores en cada uno de los cuatro criterios de desempeño. Tomando como base la calificación ponderada más alta, ¿qué proveedor deberá seleccionarse?

8. Sterling, Inc. trabaja 52 semanas al año, y el costo de los bienes vendidos el año pasado fue de $6,500,000. La compañía tiene ocho artículos en inventario: cuatro son materias primas, dos son elementos de trabajo en proceso y otros dos son bienes terminados. La tabla 10.6 muestra los niveles de inventario promedio de esos elementos durante el año pasado, junto con sus valores unitarios.

a. ¿Cuál es el valor promedio del inventario agregado?
b. ¿Cuántas semanas de aprovisionamiento tiene la empresa?
c. ¿Cuál fue la rotación del inventario durante el último año?

TABLA 10.6 Elementos del inventario de Sterling

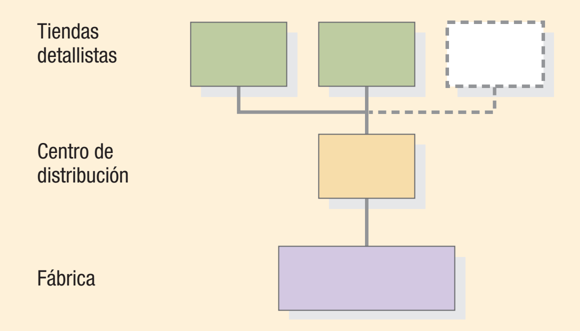
Categoría	Número de parte	Promedio de unidades en inventario	Valor por unidad
Materias primas	RM-1	20,000	$ 1
	RM-2	5,000	5
	RM-3	3,000	6
	RM-4	1,000	8
Trabajo en proceso	WIP-1	6,000	10
	WIP-2	8,000	12
Bienes terminados	FG-1	1,000	65
	FG-2	500	88

APRENDIZAJE POR EXPERIENCIA

Sonic Distributors

Escenario

Sonic Distributors produce y vende grabaciones de música en discos compactos (CD). Los CD se imprimen en una sola instalación (fábrica), se envían al centro de distribución de la compañía y se venden al público en diversas tiendas detallistas. El objetivo es lograr que la operación de la cadena de distribución se realice al costo total más bajo posible.



Materiales (el profesor los proporcionará)

Formularios de orden de compra del detallista y el distribuidor.
Formularios de orden de trabajo para la fábrica.
Formularios de entrega de materiales a la fábrica y el distribuidor.
Hojas de cálculo para registrar la posición de inventario.
Un objeto para generar cifras de demanda aleatoria (generalmente, un par de dados).

Preparación

Todos los equipos se dedican al negocio de manufacturar discos compactos de música y distribuirlos a las tiendas detallistas que los venden al público. Dos o más personas desempeñarán el papel de compradores de la tienda detallista. Su trabajo consiste en determinar la demanda de los CD y hacer pedidos al distribuidor para reabastecer su inventario. El distribuidor maneja un inventario colocado hacia delante, obtenido de la fábrica. Esta última realiza su producción por lotes, ya sea para atender los pedidos de los clientes o para el inventario.

Tareas

Divida al grupo en equipos de cuatro o cinco personas.
Dos o tres personas se harán cargo de administrar las tiendas detallistas.
Una persona quedará al frente del centro de distribución.
Una persona se encargará de programar la producción en la fábrica.

Todos los días, a medida que avance la representación, los participantes de todos los niveles de la cadena de suministro determinarán la demanda, surtirán los pedidos de los clientes, registrarán los niveles de inventario y decidirán qué cantidades deben pedir o producir y cuándo es conveniente hacer pedidos de mercancía a su proveedor.

Costos y condiciones

A menos que su profesor indique lo contrario, los siguientes costos y condiciones serán válidos.

Costos

Costo de mantener inventario por unidad por día:	Tiendas detallistas: $1.00/CD/día. Centro de distribución: $0.50/CD/día. Fábrica: $0.25/CD/día
Costo del inventario en tránsito:	Suponga que el costo del inventario en tránsito puede pasarse por alto en este ejercicio (considere que es igual a cero).
Costo de ordenar (detallistas y distribuidores):	$20/pedido.
Costo de preparación de la fábrica (para atender un pedido):	$50 (*Nota:* el costo es por pedido, no por día, porque aunque los pedidos sucesivos de los distribuidores sean para el mismo artículo, la fábrica está ocupada fabricando otras cosas entre pedidos).
Costo de desabasto (margen de pérdida):	Tienda detallista: $8 por venta perdida de un CD en un periodo. $0 por pedidos atrasados por faltantes en la fábrica o por el embarque de nuevos pedidos.
Costo de embarque:	Debido a que otros productos ya se están distribuyendo a través de esta cadena y en virtud de que los CD son ligeros y ocupan poco volumen, considere que el costo es cero.

Condiciones

Inventario inicial:	Cada una de las tiendas detallistas tiene 15 CD. El centro de distribución tiene 25 CD. La fábrica tiene 100 CD.
Restricciones al tamaño del lote:	Tiendas detallistas y centros de distribución: no hay pedido mínimo. Se puede almacenar cualquier cantidad. Tamaños de lote y capacidad de producción de la fábrica: produce en lotes mínimos de 20. Capacidad máxima: 200/día.
Pedidos pendientes:	Ninguno.

Retrasos

Retraso en los pedidos. Un día para enviar un pedido de una tienda detallista al distribuidor y del distribuidor a la fábrica (es decir, se pierde un día entre el momento en que se coloca el pedido y el momento en que empieza a ser atendido).

No hay retraso alguno para iniciar la producción una vez que se ha recibido el pedido (pero se requiere un día para entregar un pedido del distribuidor a la fábrica).

Retraso en la entrega. Un día para llevar el embarque desde el distribuidor hasta una tienda detallista, y desde la fábrica hasta el distribuidor (es decir, se pierde un día entre el momento en que se envía la mercancía solicitada en un pedido y el momento en que ésta se recibe).

Ejecución del ejercicio

Para efectos de simplificación, suponga que todas las transacciones tienen lugar simultáneamente a mediodía. Por cada día simulado, la secuencia de la representación será como se indica a continuación.

Detallistas

a. Cada detallista recibe los embarques programados que le envía su distribuidor (al día siguiente del embarque) y los coloca en su inventario de ventas (suma la cantidad indicada en el formulario de entrega de materiales recibidos del distribuidor, después del retraso de un día, al nivel del inventario final del día anterior, registrado en la hoja de cálculo de posición del inventario del detallista). (*Nota:* el primer día del ejercicio no llegará ningún pedido).

b. Cada uno de los detallistas determinará la demanda de los clientes para ese día (la cantidad de CD solicitados) tirando un par de dados. El número así obtenido indicará la cantidad de discos demandada.

c. Los detallistas satisfacen la demanda, si es posible, con el inventario disponible. La demanda se satisface restándola del nivel de inventario actual para obtener el nivel del inventario final, el cual se registra. Si la demanda es mayor que la oferta, esas ventas se pierden. Anote en la hoja de cálculo todas las ventas perdidas.

d. Los detallistas deciden si es necesario hacer un pedido. Si se requiere un pedido, la cantidad deseada de CD se anota en una orden de compra de la tienda detallista, que luego se envía al distribuidor (éste la recibe después de un día de retraso). Si se hace un pedido, deberá anotarse en la hoja de cálculo. Es posible que los detallistas deseen llevar el control de los pedidos pendientes por separado.

Distribuidor

a. El distribuidor recibe de la fábrica los embarques programados y coloca los CD en su inventario disponible (suma la cantidad indicada en el formulario de entrega de materiales recibidos de la fábrica, después del día de retraso de rigor, al nivel del inventario final del día anterior, registrado en la hoja de cálculo de posición del inventario del distribuidor).

b. Todos los pedidos aplazados que están pendientes se surten (la cantidad correspondiente se resta del nivel del inventario actual, indicado en la hoja de cálculo) y se preparan para su embarque. Para enviar los CD se llena un formulario de entrega de materiales del centro de distribución, en el cual se indica la cantidad de CD que se entregará.

c. El distribuidor se basa en las órdenes de compra recibidas de las tiendas detallistas (después del consabido retraso de un día) para preparar los embarques para su entrega, usando el inventario disponible. Las cantidades enviadas se restan del nivel actual para obtener el nivel del inventario final, el cual se registra. Si la oferta es insuficiente, será necesario aplazar el surtido de los pedidos.

d. El distribuidor determina si es necesario hacer un pedido de reabastecimiento. De ser así, la cantidad de CD requerida se anota en una orden de compra del centro de distribución, la cual se envía a la fábrica (después de un día de retraso). Si se hace un pedido, éste deberá anotarse en la hoja de cálculo. Es posible que el distribuidor también desee llevar el control de los pedidos pendientes por separado.

Fábrica

a. La fábrica coloca toda la nueva producción disponible en el inventario (suma los artículos producidos el día anterior al nivel del inventario final del día anterior en la hoja de cálculo de posición del inventario de la fábrica).

b. Todos los pedidos aplazados que estén pendientes se surten (la cantidad correspondiente se resta del nivel del inventario actual, indicado en la hoja de cálculo) y se preparan para su embarque. Para enviar los CD se llena un formulario de entrega de materiales de la fábrica, en el cual se indica la cantidad de CD que se entregará.

c. La fábrica recibe las órdenes de compra que llegan del distribuidor (después del retraso reglamentario de un día) y las surte con su inventario, si es posible. Estas cantidades se restan de los valores actuales, en la hoja de cálculo del inventario. Todos los pedidos que se quedan sin surtir se convierten en pedidos aplazados para el día siguiente.

d. La fábrica decide si debe expedir una orden de trabajo para producir los CD para inventario o para atender pedidos. Si se requiere producción, la orden de trabajo de la fábrica se expide y se anota en la hoja de cálculo correspondiente al inventario. Recuerde que cada orden de *producción* implica un costo de preparación. Es importante llevar un registro cuidadoso de toda la producción que está en proceso.

Recuerde que una vez que se ha colocado un pedido, ya no es posible modificarlo ni se pueden hacer envíos parciales. Por cada día, anote la posición de su inventario final, los pedidos aplazados o la cantidad de ventas perdidas, y si se hizo algún pedido (o si se inició alguna partida de producción). Después de que todos hayan completado las transacciones del día, la secuencia se repetirá, empezando por el paso (a) correspondiente al detallista. Su profesor le indicará cuántos días simulados incluirá este ejercicio.

Cuando termine la representación, obtenga la cantidad acumulada de inventario y otros costos. Para ello, sume las cifras registradas en cada columna y después multiplique esos totales por los costos previamente enumerados. Use el total de estos costos para evaluar cómo administró su equipo la cadena de distribución.

Fuente: Este ejercicio fue preparado por Larry Meile, Carroll School of Management, Boston College.

CASO 1

Wolf Motors

John Wolf, presidente de Wolf Motors, acaba de regresar a su oficina después de hacer una visita a la nueva distribuidora automotriz recién adquirida por la compañía. Se trata de la cuarta agencia distribuidora de Wolf Motors, en una red que atiende un área metropolitana de 400,000 personas. Más allá del área metropolitana, pero a sólo 45 minutos de viaje en automóvil, viven otras 500,000 personas. Cada una de las agencias distribuidoras de la red vende una marca de automóvil diferente e históricamente, todas ellas han trabajado en forma autónoma.

Wolf está especialmente emocionado con su nueva distribuidora porque es el primer "supermercado de automóviles" de la red. Los supermercados de automóviles se distinguen de las distribuidoras automotrices tradicionales porque en ellos se venden diversas marcas de vehículos en un mismo local. La nueva agencia distribuidora vende la línea completa de vehículos Chevrolet, Nissan y Volkswagen.

Desde de sus inicios hace 15 años, con la compra de una distribuidora Dodge en quiebra, Wolf Motors ha crecido a ritmo constante, tanto en tamaño como en prestigio. Wolf atribuye este éxito a tres factores altamente interdependientes. El primero de ellos es el volumen. Al mantener un alto volumen de ventas y una rápida rotación del inventario, es posible obtener economías de escala, las cuales reducen los costos y permiten ofrecer a los clientes una amplia variedad de vehículos. El segundo factor es el método de marketing conocido como "experiencia de compra sin molestias". En cada automóvil se coloca un letrero que anuncia el "precio único, precio más bajo". Así, los clientes pueden entrar al local, curiosear y comparar precios sin ser abordados por vendedores insistentes. Si desean hacer alguna pregunta o comprar un vehículo, no tienen más que acercarse al mostrador de atención al cliente para que un vendedor bien informado los atienda. Finalmente, y Wolf considera que esto es quizá lo más importante, se les brinda servicio después de la venta. Wolf Motors se ha labrado un sólido prestigio por su capacidad para brindar servicio, diagnosticar las fallas y reparar los vehículos de modo correcto y puntual desde la primera vez.

El servicio de alta calidad después de la venta depende de tres componentes esenciales. El primero es la presencia de un equipo técnico de servicio formado por empleados altamente calificados y bien capacitados. El segundo consiste en la utilización de las herramientas y tecnologías más modernas para respaldar las actividades de diagnóstico y reparación. Y el tercero es la disponibilidad de toda la gama de partes y materiales necesarios para completar el servicio y las reparaciones sin retrasos. Wolf decidió invertir en capacitación y equipo para asegurarse de ofrecer a sus clientes personal capacitado y tecnología de vanguardia. Lo que le ha preocupado, a medida que Wolf Motors crece, es si podrá seguir disponiendo de las partes y materiales apropiados. Esta preocupación lo indujo a centrar la atención en el proceso de relaciones con los proveedores y en la administración de los flujos de las partes y materiales de servicio en la cadena de suministro.

Wolf recordó las noticias que se publican en la sección financiera de los periódicos, en las que se describe el fracaso de las compañías que no planearon correctamente su crecimiento. Esas empresas habían crecido tanto que dejaron atrás sus propias políticas, procedimientos y sistemas de control. Careciendo de un plan adecuado para actualizar sus sistemas, tales compañías tuvieron que afrontar multitud de problemas que las condujeron a la ineficiencia y finalmente fueron incapaces de competir con eficacia. Él no quería que le sucediera algo similar a Wolf Motors.

Cada una de las cuatro distribuidoras compra sus propias partes y materiales de servicio. Las compras se basan en pronósticos generados a partir de datos históricos de demanda, en los que se toman en cuenta factores como la estacionalidad. La tasa de fallas en las baterías y alternadores es elevada en invierno, y las partes para sistemas de aire acondicionado tienen mucha demanda durante el verano. Asimismo, se requiere refrigerante en primavera para dar servicio a los sistemas de aire acondicionado en previsión de la llegada de los meses de verano, en tanto que en el otoño se requiere anticongelante, a fin de preparar los vehículos para el invierno. Los pronósticos también se ajustan según las ventas especiales de vehículos y las promociones de servicio, las cuales incrementan la necesidad de los materiales utilizados para preparar los automóviles nuevos y dar servicio a los demás vehículos.

Algo que dificulta mucho la compra de partes y materiales de servicio es el enorme número de partes diferentes que es necesario tener siempre a mano. Algunas de estas partes se utilizan para proporcionar servicio a los automóviles de los clientes, y otras para venderlas como partes de repuesto en el mostrador. Algunas tienen que comprarse forzosamente a los fabricantes del automóvil o a sus mayoristas certificados, y para apoyar, por ejemplo, la promoción de "partes de GM garantizadas". Otras partes y materiales, como aceites, lubricantes y correas para ventilador, pueden comprarse a varios proveedores. El departamento de compras no debe olvidar que el éxito de la distribuidora depende de: (1) disminuir los costos para apoyar el concepto de "compras sin molestias y precio único, precio más bajo", y (2) proveer las partes adecuadas en el momento oportuno para respaldar el servicio rápido y digno de confianza después de la venta.

Mientras Wolf reflexionaba sobre la compra de partes y materiales, no podía quitarse de la cabeza dos ideas: la cantidad de espacio disponible para el almacenamiento de partes y el nivel de recursos financieros con los que contaba para invertir en partes y materiales. La adquisición de la nueva distribuidora, que era un supermercado de automóviles, había aumentado las presiones de carácter económico y de espacio, pues ahora sería necesario brindar soporte a tres líneas de automóviles diferentes en la misma instalación. El dinero para invertir empezaba a escasear y el espacio costaba carísimo. Wolf se preguntó qué podía hacer en el área de compras para solucionar algunos de esos problemas y aliviar las correspondientes presiones.

PREGUNTAS

1. ¿Qué recomendaciones le haría usted a John Wolf acerca de la estructuración del proceso de relaciones con los proveedores de la red de distribuidoras de Wolf Motors?
2. ¿En qué podrían diferir las políticas y procedimientos de compra si las agencias distribuidoras compran diferentes tipos de partes y materiales de servicio (por ejemplo, lubricantes en lugar de partes genuinas de GM)?
3. ¿En qué forma la estrategia de cadena de suministro puede ayudar a John Wolf a reducir las necesidades de inversión y espacio, pero manteniendo niveles de servicio adecuados?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

CASO 2

Brunswick Distribution, Inc.

James Brunswick, director general de Brunswick Distribution, Inc. (BDI), miró por la ventana de su oficina un día que hacía un calor sofocante y se preguntó qué había pasado con su compañía. Acababa de revisar los informes financieros más recientes de su empresa y notó algo que le provocó gran preocupación. Brunswick Distribution, Inc. había experimentado un periodo de crecimiento sostenido en los últimos cuatro años. "¿Qué sucedió?", pensó. "Nuestras ventas han estado creciendo, en promedio, a una tasa de 8% en los últimos cuatro años, pero parece que estamos peor que antes". Se sentó en su sillón, suspiró apesadumbrado y siguió revisando el informe que tenía en el escritorio.

Las ventas habían aumentado de manera constante en los últimos cuatro años, pero el futuro era incierto. James Brunswick estaba consciente de que una parte del crecimiento anterior había sido, en buena medida, resultado de que algunos competidores de la región tuvieron que cerrar, situación que no era probable que continuara. Sin embargo, los ingresos netos habían disminuido en los últimos tres años y se esperaba que siguieran bajando el año próximo.

Brunswick estaba resuelto a que su compañía volviera a la rentabilidad en los siguientes tres años. Se levantó del escritorio y llamó a su asistente personal. "Carla, ¿sería tan amable de decirle a Lew y a Frank que vengan?"

Antecedentes

El negocio de la distribución, en su forma más sencilla, consiste en comprar inventario de productos de una variedad de fabricantes y revenderlo a comerciantes detallistas. En los últimos tres a cinco años, la demanda de inventario cambió de manera considerable; ni los fabricantes ni los detallistas quieren manejar inventarios y dejan que los distribuidores carguen con esa responsabilidad. Además, una tendencia creciente entre los detallistas a hacer sus pedidos directamente a los fabricantes presiona aún más la rentabilidad de los distribuidores en general.

BDI se fundó como un simple distribuidor de productos de fabricantes locales, que revendía a clientes pequeños dentro y en las cercanías de la ciudad de Moline, Illinois. James Brunswick era director de logística de una compañía grande de transporte de carga, que tenía su sede en Chicago y operaba en siete estados del Medio Oeste de Estados Unidos. Luego de trabajar cinco años en la compañía de transporte de carga, renunció para iniciar su propio negocio de distribución en su ciudad natal, usando sus finanzas personales y una pequeña línea de crédito que le otorgó el banco local.

Con la ayuda de dos de sus amigos de sus épocas de universitario, Lew Jackson y Frank Pulaski, fundó Brunswick Distribution, Inc., como una compañía de distribución pequeña, pero rentable. En los primeros nueve meses, los tres amigos trabajaron en un cobertizo situado en el patio posterior de la casa de la abuela de Brunswick. Éste había logrado convencer al banco local de que le concediera un préstamo para su pequeña empresa, que utilizó para comprar dos camionetas usadas.

A medida que la empresa creció, BDI se trasladó del cobertizo a un local más grande en las afueras de la ciudad. La compañía se mudó a una instalación alquilada de 10,000 pies cuadrados (poco más de 929 metros cuadrados). En 1997, BDI empezó a distribuir aparatos electrodomésticos de lujo. Por ejemplo, para complementar sus productos de margen bajo, BDI celebró un contrato con KitchenHelper Corp., un fabricante de aparatos de cocina caros, situado a unos 56 kilómetros de Moline, para distribuir los aparatos de KitchenHelper entre clientes de la región. A través de los años, BDI disfrutó de crecimiento constante y amplió su área de cobertura. En diciembre de 2007, Brunswick cubría un área con un radio de 322 kilómetros alrededor de la instalación principal de la compañía. En virtud del rápido crecimiento, BDI compró la instalación alquilada y construyó ampliaciones para aumentar su capacidad a 30,000 pies cuadrados (2,787 metros cuadrados).

La desaparición de varios de sus competidores dio como resultado la adquisición de nuevos clientes detallistas y algunas líneas nuevas de productos. Tradicionalmente, los pedidos en la cadena detallista-distribuidor-fabricante se hacían por fax o por teléfono. Brunswick pensó en la posibilidad de implementar un sistema de pedidos basado en Internet, pero no estaba seguro de los posibles beneficios en operación y marketing que este sistema podría proporcionar.

Inquietudes

Mercado

La competencia directa de otros distribuidores aumentó en los últimos cinco años. Como resultado, los distribuidores más exitosos adoptaron una estrategia de valor agregado para seguir siendo competitivos. Los comerciantes detallistas quieren tener entregas confiables para respaldar las promociones de venta y los compromisos adquiridos con los clientes. También quieren libertad para realizar promociones de venta en cualquier momento, según lo impongan las condiciones de la competencia y dando aviso con muy poca anticipación a los distribuidores. También quieren la oportunidad de elegir entre una amplia variedad de aparatos electrodomésticos. No obstante, muchos pedidos se ganan con base en el precio y se pierden por problemas en la entrega.

Financieras

Los fabricantes, por lo general, exigen que el pago se haga efectivo entre 30 y 45 días y no ofrecen facilidades de pago. Los detallistas, por el otro lado, pagan entre 50 y 60 días después de recibir los productos. Esta diferencia a menudo deja a BDI con poco efectivo disponible, lo que ejerce presión innecesaria en su actual préstamo de operación. La capacidad de endeudamiento de la compañía casi se ha agotado. Cualquier financiamiento adicional tendrá que buscarse con otras fuentes. Dada la situación financiera de BDI, cualquier financiamiento adicional se le otorgará a una tasa más alta que la deuda existente de la compañía.

Operaciones

La rotación del inventario también presentó problemas en los últimos cinco años. Sin embargo, en los últimos dos, se registró una baja significativa en la rotación. No parece probable que esta tendencia continúe.

Los pedidos de los detallistas llegan a medida que sus clientes se aproximan al fin de las obras de construcción o renova-

ción. A pesar de que la información histórica proporcionó un buen parámetro de referencia para las ventas futuras, el mercado cambiante redujo la fiabilidad de la información. Los cambios también afectan los pedidos de BDI. Los fabricantes requieren proyecciones a 60, 90 y 120 días para poder presupuestar su producción. En ocasiones, se imponen multas cuando BDI cambia un pedido después de haberlo colocado con el fabricante.

Aspectos estratégicos

Cuando Lew y Frank entraron en la oficina de Brunswick, éste seguía pensando en el informe. "Tomen asiento, caballeros", refunfuñó. Lew y Frank sabían que les esperaba una jornada muy larga. Brunswick informó rápidamente a los hombres del porqué los había llamado y de inmediato se enfrascaron en una discusión animada. Brunswick señaló que BDI necesitaría estructurarse de manera apropiada para hacer frente a la recesión y la realidad del mercado actual. "Necesitamos estar bien posicionados para el crecimiento cuando el mercado se estabilice", aseguró. Para hacer frente a este reto, BDI debía evaluar diversas alternativas. Algunas de las posibles opciones podrían incluir la expansión de los sistemas actuales y, cuando fuera necesario, desarrollar nuevos sistemas para interactuar con proveedores, clientes y recursos de transporte comercial para adquirir visibilidad total de los activos.

Antes de tomar cualquier decisión referente a invertir, Brunswick les recordó que BDI tendría que evaluar todas las necesidades de nuevo capital, así como la contribución esperada a los resultados de la compañía y su participación de mercado, que cualquiera de las opciones pudiera ofrecer. En el anexo 1 se muestran los estados financieros de los últimos cuatro años, con proyecciones para 2008.

Inversión en nueva infraestructura

Frank Pulaski, vicepresidente de operaciones, comentó: "Desde que Associated Business Distribution Corporation dejó de operar hace cuatro años, hemos recibido innumerables llamadas telefónicas y mensajes de correo electrónico de posibles clientes de la región del Medio Oeste que buscan una alternativa a los servicios que les proporcionaba ABD. Estas consultas no sólo llegan de los ex clientes de ABD, sino también de posibles clientes que no han tenido trato ni con ABD ni con nosotros en el pasado. No podemos atender este mercado como se debe con nuestro actual almacén porque los clientes no quieren esperar entregas que tardan mucho tiempo. En la actualidad, atendemos a algunos clientes de esa región; sin embargo, no creo que podamos conservarlos mucho tiempo. Para aprovechar esta oportunidad, tendríamos que construir un nuevo almacén para complementar nuestros recursos, que ya de por sí estamos estirando al máximo. Lo que nos detiene es una infraestructura insuficiente, demasiado pequeña para nuestras necesidades. En este momento, sólo contamos con el almacén de Moline". La adición de nuevas instalaciones brindaría a Brunswick Distribution, Inc., la oportunidad de tener mayor penetración en mercados industriales clave en la región alta del Medio Oeste, donde BDI ha tenido presencia limitada.

Los recursos financieros para esta opción constituirían un desafío, ya que BDI ha alcanzado prácticamente su límite de crédito con su principal banco. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de conseguir financiamiento adicional en bancos grandes de Chicago, aunque esto sería caro (las tasas de interés actuales para préstamos a largo plazo son de 11% en adelante). Según Frank, esta opción costaría 2 millones de dólares por la adquisición de inmuebles y 10 millones de dólares más para maquinaria y equipo. Las instalaciones adicionales se depreciarían a lo largo de 20 años. El préstamo a 20 años se pagaría con un solo pago global al final del plazo del préstamo. Con la infraestructura adicional, BDI podría aumentar sus ventas anuales en $4,426,000. Además, los tiempos de espera para las entregas de los clientes de la región se reducirían de 5 a 2 días, lo cual sería muy competitivo. Debido a la mayor capacidad de almacenamiento, BDI también podría incrementar el número de marcas y modelos de aparatos para atender mejor las necesidades de las tiendas detallistas que piden más variedad. Sin embargo, ciertos costos de operación también aumentarían. Los costos totales de envío, que incluyen las entregas de los proveedores al almacén, así como las entregas a los clientes, aumentarían en $955,000. Los costos de materiales (por los inventarios adicionales) y los costos de mano de obra aumentarían en 6% cada uno. Las cuentas por cobrar aumentarían en $1,500,000. En cuanto al efecto en el pasivo circulante, se espera que la partida "otros pasivo" se incremente en un monto igual a los pagos de interés anual sobre el nuevo préstamo.

Modernización del sistema de surtido de pedidos

Lew Jackson, vicepresidente de logísticas, añadió: "Creo que hay una oportunidad de capitalizar el vacío que dejaron nuestros competidores que cerraron, si utilizamos un sistema de distribución rentable. No necesitamos nuevas instalaciones; podemos seguir atendiendo a nuestros clientes del Medio Oeste lo mejor que podamos. Sin embargo, lo que sí necesitamos es un sistema de distribución eficiente. Mantenemos una cantidad considerable de productos que no se han movido simplemente por nuestros sistemas de inventario ineficientes. Una de nuestras principales prioridades es trabajar diligentemente con el departamento de control de inventarios para conservar lo que necesitamos y deshacernos de lo que no nos hace falta. Este método nos permitirá usar el espacio recuperado con la eliminación de los artículos innecesarios para instalar equipo automatizado de almacenamiento que nos permitirá llegar a ser más eficientes. Todo lo que hacemos y todo el dinero que gastamos afecta a nuestros clientes. Es necesario que nuestros precios sigan siendo competitivos. Nuestro costo de operaciones es el costo de nuestros clientes. Nuestra meta es permitir a los clientes gastar sus recursos en preparación y las herramientas de su negocio, no en logística. Esta opción no nos ayudará mucho con la variedad de productos o la rapidez en la entrega; sin embargo, mejorará nuestro desempeño en lo que se refiere a puntualidad en la entrega y nos dará mayor flexibilidad para responder a los cambios en los pedidos de los detallistas para apoyar sus programas de ventas".

La opción de tener un centro integrado, compuesto por sistemas complejos de automatización, equipo avanzado para el manejo de materiales y tecnología informática desarrollada especialmente, daría a BDI tanto la versatilidad como la capacidad para ofrecer mejores productos y servicios a los clientes de Brunswick. Hay dos versiones disponibles del sistema, y cualquiera de las dos podría instalarse en las actuales instalaciones de almacenamiento. El sistema "básico" apoyaría los pedidos en tiempo real, la planeación y programación de la logística y el servicio después de la venta. Al recibir un pedido por medio del centro de atención telefónica situado en las oficinas de Brunswick en Moline, se enviaría a un centro de logística para su procesamiento. Al cliente se le daría una fecha de entrega con base en la disponibilidad de los camiones. Los pedidos se agruparían por destino para que los camiones pudieran cargarse con eficiencia a fin de maximizar la capacidad de éstos. El pedido se programaría

ANEXO 1

Estados financieros de la compañía

Balance general de Brunswick
(en miles de dólares)

	2008	2007	2006	2005	2004
Activos					
Activo circulante					
Inventario	6,789	6,398	4,945	3,491	2,610
Cuentas por cobrar	5,603	5,117	3,973	3,538	3,530
Otros activos circulantes	1,381	907	981	1,242	921
Efectivo	3,223	2,841	2,756	2,912	3,105
	16,996	15,263	12,655	11,183	10,166
Activos a largo plazo					
Inmuebles, planta y equipo, neto	12,174	13,139	13,729	12,110	12,687
Inversiones a largo plazo	1,000	1,000	1,000	1,000	750
	13,174	14,139	14,729	13,110	13,437
Total del activo	**30,170**	**29,402**	**27,384**	**24,293**	**23,603**
Pasivos					
Pasivo circulante					
Cuentas por pagar	2,582	2,654	2,811	3,480	3,510
Documentos por pagar	1,099	894	964	1,263	1,522
Deuda a corto plazo	2,859	3,050	3,320	3,061	3,650
	6,540	6,598	7,095	7,804	8,682
Pasivos a largo plazo					
Préstamos a largo plazo	6,519	8,260	8,460	7,839	8,960
	13,059	14,858	15,555	15,643	17,642
Capital	17,111	14,544	11,829	8,650	5,961
Total del pasivo y capital	**30,170**	**29,402**	**27,384**	**24,293**	**23,603**

Estado de resultados de Brunswick
(en miles de dólares)

	2008	2007	2006	2005	2004
Ventas	33,074	31,109	29,255	27,030	23,694
Costo de las ventas	21,620	19,532	17,040	15,700	14,668
Utilidad bruta	11,454	11,577	12,215	11,330	9,026
Costo de ventas, gastos generales y administrativos	4,873	4,630	4,510	4,426	4,256
Depreciación	1,794	1,794	1,794	1,794	1,794
Ingreso de operación	4,787	5,153	5,911	5,110	2,976
Interés	838	976	1,020	973	1,130
Ingreso gravable	3,949	4,177	4,891	4,137	1,846
Impuestos	1,382	1,462	1,712	1,448	646
Utilidad neta	2,567	2,715	3,179	2,689	1,200

entonces para entrega y se informaría al cliente de la llegada estimada. Esta nueva tecnología informática mejoraría la fiabilidad de BDI con respecto a la entrega de los productos en la fecha prometida. Los costos de capital de este sistema serían de $4.7 millones. El sistema "completamente integrado" tiene todo lo que el sistema básico, pero además incluye un sistema automático de almacenamiento y recuperación de datos (AS/RS, del inglés *automatic storage and retrieval system*). El AS/RS selecciona el pedido de un cliente y lo traslada a una plataforma para cargarlo en un camión que se dirige al lugar donde se localiza el cliente. Los

costos de capital de este sistema ascenderían a $7 millones. Independientemente del sistema elegido, estos costos se depreciarían a lo largo de un periodo de 10 años. Los costos de operación, que incluyen la capacitación, serían de $0.5 millones cada año por cualquiera de los dos sistemas. Estos costos se considerarían gastos fijos de Brunswick. Sin embargo, el sistema mejorado reportaría muy buenos ahorros en costos. El sistema básico produciría 10% de ahorro en embarques y 10% de ahorro en gastos de mano de obra, mientras que el sistema completamente integrado ahorraría hasta 16% en cada uno de estos rubros. BDI podría financiar esta opción con un préstamo a 10 años a una tasa de interés de 10%. El préstamo se pagaría con un pago global al final del plazo del préstamo. Los pasivos circulantes de BDI, en específico la partida "otros pasivos", aumentarían por los pagos de interés anual sobre el préstamo.

Estos ahorros se generarían por el manejo más eficiente de los pedidos de los clientes en el centro de atención telefónica, una mejor planeación y programación de los embarques y mejor comunicación con el almacén y los clientes, lo que produciría una reducción radical de los costos de embarque en la cadena de suministro. Además, se obtendrían otros ahorros por la reducción de los costos de personal; se necesitarían menos operarios, lo que a su vez reduciría los pasivos a corto plazo. Lew Jackson piensa que BDI podría mantener su nivel actual de servicio con cualquiera de estas dos opciones y, al mismo tiempo, llegar a ser mucho más eficiente.

La decisión

James Brunswick sopesó las dos opciones planteadas por Frank y Lew. La opción propuesta por Frank permitía a la empresa aumentar sus ingresos porque ésta podría atender a más clientes. Sin embargo, el desembolso de capital era muy considerable. La opción de Lew se centraba en atender con mayor eficiencia a los clientes actuales de la empresa. El valor de esa opción era la reducción radical de los costos; sin embargo, no era seguro que BDI pudiera conservar a los clientes que tenía actualmente en la región alta del Medio Oeste. Brunswick comprendía que no podía emprender las dos opciones, dada la actual situación financiera de la compañía. ¿Cómo afectará cada opción las razones financieras y el valor neto de la empresa, los cuales son observados con mucha atención por los inversionistas? ¿Cuál sería mejor para la compañía?

El Financial Measures Analyzer (Analizador de medidas financieras), un programa que se incluye en el CD-ROM del estudiante en OM Explorer (véase la carpeta Supply Chain Strategy [Estrategia de cadena de suministro]) contiene hojas de cálculo del estado de resultados, el balance general y las razones financieras de Brunswick. Éstas contienen los datos de 2008 como punto de partida. Los cambios, o "sacudidas", en la posición inicial, resultantes de una opción de inversión, pueden introducirse en la columna central. El programa calcula los efectos de los cambios en la columna del lado derecho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bowersox, D. J. y D. J. Closs, Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process, Nueva York, McGraw-Hill, 1996.

Champion, David, "Mastering the Value Chain", *Harvard Business Review,* junio de 2001, pp. 109–115.

Conner, Martin P., "The Supply Chain's Role in Leveraging Product Life Cycle Management", *Supply Chain Management Review,* marzo de 2004, pp. 36–43.

Cook, Robert L., Brian Gibson y Douglas MacCurdy, "A Lean Approach to Cross-Docking", *Supply Chain Management Review,* marzo de 2005, pp. 54–59.

Duray, Rebecca, Peter. T. Ward, Glenn W. Milligan y William L. Berry, "Approaches to Mass Customization: Configurations and Empirical Validation", *Journal of Operations Management*, volumen 18, 2000, pp. 605–625.

Duray, Rebecca, "Mass Customization Origins: Mass or Custom Manufacturing?", *International Journal of Operations and Production Management*, volumen 22, número 3, 2002, pp. 314–328.

Ellram, Lisa M. y Baohong Liu, "The Financial Impact of Supply Management", *Supply Chain Management Review,* noviembre–diciembre de 2002, pp. 30–37.

Farrell, Diana, "Beyond Offshoring: Assess Your Company's Global Potential", *Harvard Business Review,* diciembre de 2004, pp. 82–90.

Fisher, Marshall L., "What Is the Right Supply Chain for Your Product?", *Harvard Business Review,* marzo–abril de 1997, pp. 105–116.

Freund, Brian C. y June M. Freund, "Hands-On VMI", *APICS—The Performance Advantage*, marzo de 2003, pp. 34–39.

Fugate, Brian S. y John T. Mentzer, "Dell's Supply Chain DNA", *Supply Chain Management Review,* octubre de 2004, pp. 20–24.

Hammer, Michael, "The Superefficient Company", *Harvard Business Review,* septiembre de 2001, pp. 82–91.

Handfield, Robert, S. Walton, Robert Sroufe y Steven Melnyk, "Applying Environmental Criteria to Supplier Assessment: A Study of the Application of the Analytical Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research*, volumen 41, número 1, 2002, pp. 70–87.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2ª edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Lee, Hau L., "The Triple-A Supply Chain", *Harvard Business Review,* octubre de 2004, pp. 102–112.

Lee, Hau L. y Corey Billington, "Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities", *Sloan Management Review*, primavera de 1992, pp. 65–73.

Liker, Jeffrey K. y Thomas Y. Choi, "Building Deep Supplier Relationships", *Harvard Business Review,* diciembre de 2004, pp. 104–113.

Maloni, M. y W. C. Benton, "Power Influences in the Supply Chain", *Journal of Business Logistics*, volumen 21, 2000, pp. 49–73.

Melnyk, Steven y Robert Handfield, "Green Speak", *Purchasing Today*, volumen 7, número 7, 1996, pp. 32–36.

Melnyk, Steven, Robert Sroufe y Roger Calantone, "Assessing the Impact of Environmental Management Systems on Corporate and Environmental Performance", *Journal of Operations Management*, volumen 21, número 3, 2003.

Metersky, Jeff y J. Michael Kilgore, "How to Improve Your Inventory Deployment", *Supply Chain Management Review,* octubre de 2004, pp. 26–32.

Moeeni, Farhad, "Quality Decision Making, Input Technologies, and IT Education", *Decision Line,* mayo de 2004, pp. 14–17.

Randall, Taylor, Serguei Netessine y Nils Rudi, "Should You Take the Virtual Fulfillment Path?", *Supply Chain Management Review,* noviembre-diciembre de 2002, pp. 54–58.

Siekman, Philip, "The Smart Car Is Looking More So", *Fortune*, 15 de abril de 2002, pp. 310I–310P.

Steerman, Hank, "A Practical Look at CPFR: The Sears-Michelin Experience", *Supply Chain Management Review*, julio-agosto de 2003, pp. 46–53.

Sullivan, Laurie, "Wal-Mart's Way", *Informationweek.com*, 27 de septiembre de 2004, pp. 37–50.

Trent, Robert J., "What Everyone Needs to Know About SCM", *Supply Chain Management Review,* marzo de 2004, pp. 52–59.

Venkatesan, Ravi, "Strategic Sourcing: To Make or Not to Make", *Harvard Business Review,* noviembre–diciembre de 1992, pp. 98–107.

11

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Explicar cómo las decisiones relativas a la localización se relacionan con el diseño de las cadenas de valor.
2. Identificar los factores que afectan las decisiones sobre localización.
3. Entender la función de los sistemas de información geográfica en la toma de decisiones sobre localización.
4. Entender las técnicas para la localización de una sola instalación.
5. Explicar cómo se aplican el centro de gravedad, el método de carga-distancia, el análisis del punto de equilibrio, el método de transporte y otros más para la localización de múltiples instalaciones.



Las fluctuaciones en el tipo de cambio de las divisas y otros factores económicos llevaron a Bavarian Motor Works (BMW) a pensar en la posibilidad de fabricar sus automóviles fuera de Europa. Pero la pregunta era: ¿dónde? Luego de un extenso estudio y numerosas concesiones gubernamentales, Spartanburg, Carolina del Sur, se convirtió en el lugar donde se fabrican en exclusiva los vehículos para actividades deportivas BMW Z4 Roadster y BMW X5.

CAPÍTULO 11

Localización

BAVARIAN MOTOR WORKS (BMW)

Bavarian Motor Works (BMW), fundada en 1917 y con sede en Munich, Alemania, es fabricante de marcas selectas del segmento de automóviles de gran lujo, como BMW, MINI y Rolls-Royce Motor Cars, que se venden en el mercado internacional. Ante las fluctuaciones en los tipos de cambio y los crecientes costos de producción a finales de la década de 1980, BMW decidió que había llegado el momento de pensar en operar una nueva planta de producción fuera de las fronteras europeas. Se usó un método de "página en blanco" para compilar una lista de 250 posibles lugares en el mundo para instalar la fábrica. Después un análisis a fondo, la lista se redujo a 10 opciones viables; era preferible localizar la planta en Estados Unidos por la proximidad de este país con un amplio segmento de mercado de los automóviles BMW.

La selección del sitio de la planta abarcó muchos factores que tenían que analizarse antes de la construcción. BMW tomó en consideración el clima laboral de cada país, los requerimientos y restricciones geográficas y las relaciones con los gobiernos de los países donde estaban los posibles sitios en perspectiva. En función del ambiente laboral, se necesitaba una fuerza de trabajo tecnológicamente capaz debido a la complejidad del proceso de fabricación de los automóviles. En virtud de que el costo de capacitar a un solo trabajador en la industria automovilística es de entre 10,000 y 20,000 dólares, este factor fue especialmente crítico. Además, BMW decidió que si la planta se situaba en Estados Unidos, tendría que ser en un estado regido por las leyes de "derecho al trabajo" para satisfacer a los sindicatos estadounidenses. Los factores geográficos tuvieron que examinarse porque proveedores nacionales e internacionales tendrían que entregar miles de autopartes en la nueva planta. Para mantener los costos de la cadena de suministro en un nivel bajo, se decidió que la nueva localización debía tener acceso amplio por autopistas y carreteras interestatales y encontrarse razonablemente cerca de un puerto desde el cual los suministros y automóviles terminados pudieran



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

transportarse con facilidad. Otra consideración fue el acceso fácil a un aeropuerto para que los ejecutivos de BMW viajaran de ida y vuelta a sus oficinas centrales en Alemania. El último factor de localización se relacionó con el gobierno. BMW quería mudarse a un lugar "favorable para los negocios" donde el gobierno local hiciera concesiones en temas como mejoras de infraestructura, desgravaciones fiscales, programas de selección y educación de empleados. La meta general era lograr que la relación entre BMW y la comunidad fuera lo más beneficiosa posible para ambas partes gracias a un esfuerzo coordinado de mejoramiento.

Después de un proceso de búsqueda que duró tres años y medio, en el que se evaluaron rigurosamente las 10 opciones viables con base en estos factores de localización, BMW decidió por fin construir una nueva instalación de producción de 2 millones de pies cuadrados (casi 186,000 metros cuadrados) en Spartanburg, Carolina del Sur. La decisión final se tomó por la buena compatibilidad entre los criterios de selección antes mencionados y el ambiente que se observó en Spartanburg. Los legisladores de Carolina del Sur resultaron ser flexibles y abiertos respecto a cómo atendería el estado las necesidades expuestas por BMW. Por ejemplo, se comprometieron a adquirir los 500 acres (202 hectáreas) necesarios para construir la planta (lo que requirió que se aprobara un paquete de emisión de bonos por 25 millones de dólares), mejorar el sistema de autopistas alrededor de la fábrica (inversión de 10 millones de dólares) y alargar la pista de aterrizaje y modernizar la terminal del aeropuerto de Spartanburg (desembolso de 40 millones de dólares). La legislatura también accedió a ofrecer incentivos fiscales, reducciones en la tasa del impuesto predial y establecer un programa de selección y capacitación de empleados para garantizar que estuviera lista la mezcla correcta de trabajadores. (El procesamiento de solicitudes, por sí solo, resultó ser una tarea de proporciones formidables, ya que se recibieron más de 50,000 solicitudes.) Es posible que Carolina del Sur no haya alcanzado las puntuaciones más altas en todos los criterios de decisión, pero en conjunto, la localización de Spartanburg fue la mejor para BMW.

Esta localización resultó ser buena. La planta, que se inauguró en 1994, se amplió posteriormente en 1996 con una inversión de 200 millones de dólares; en 1999 hubo otra ampliación que costó 50 millones de dólares y en 2000 se invirtieron 300 millones de dólares en una nueva expansión. En la actualidad, la fábrica emplea aproximadamente a 4,700 trabajadores que producen más de 500 vehículos al día. BMW Manufacturing Corporation de Carolina del Sur es hoy parte de la red global de manufactura del Grupo BMW y es la planta de fabricación exclusiva de todos los vehículos de actividades deportivas Z4 Roadster y X5. El estado de Carolina de Sur también se benefició, ya que registró un notable crecimiento económico (BMW trajo consigo a 39 de sus proveedores), empleo (se crearon aproximadamente 12,000 nuevos empleos) y mejoras en la comunidad: una historia de éxito completo.

Fuentes: "Manager's Journal: Why BMW Cruised into Spartanburg", *Wall Street Journal* , de julio de 1992, p. A10; "BMW Announces Its Plans for a Plant in South Carolina", *Wall Street Journal*, 24 de junio de 1992, p. B2; P. Galuszka, "The South Shall Rise Again", *Chief Executive*, noviembre de 2004, pp. 50–54; Southern Business & Development, www.sb-d.com, junio de 2005; www.bmwusfactory.com, junio de 2005.

localización de la instalación

El proceso de elegir un lugar geográfico para realizar las operaciones de una empresa.

Localización de la instalación es el proceso de elegir un lugar geográfico para realizar las operaciones de una empresa. Las opciones de localización pueden tener importancia crucial para las empresas y producen un profundo impacto en la cadena de valor de una empresa. Por ejemplo, afectan el proceso de relaciones con los proveedores: la economía global en expansión da a las empresas mayor acceso a proveedores de todo el mundo, muchos de los cuales pueden ofrecen costos más bajos de insumos o servicios y productos de mejor calidad. No obstante, cuando las instalaciones de fabricación se trasladan a otros países, estar lejos de los proveedores puede incrementar los costos de transporte y dificultar la coordinación. El proceso de relaciones con los clientes también puede resultar afectado por las decisiones de la empresa respecto a la localización. Si el cliente debe estar físicamente presente en el proceso, no es probable que una localización sea aceptable si el tiempo o la distancia entre el proveedor del servicio y el cliente son grandes. Si, por otro lado, el contacto con el cliente es más pasivo e impersonal, o si los materiales o información se procesan más que las personas, la localización puede representar un problema menor. Las tecnologías de información e Internet a veces ayudan a superar las desventajas relacionadas con la localización de una compañía. Sin embargo, hay algo que queda muy claro: la localización de las

instalaciones de una empresa tiene impacto significativo en los costos de operación de la compañía, los precios que ésta cobra por los productos y servicio y la capacidad que tiene para competir en el mercado y penetrar nuevos segmentos de clientes.

El análisis de las pautas de localización para descubrir la estrategia subyacente de una empresa es fascinante. Por ejemplo, ¿por qué White Castle acostumbra situar sus restaurantes cerca de plantas manufactureras? ¿Por qué las salas de exhibición y venta de nuevos automóviles competidores se sitúan unas muy cerca de otras? La estrategia de White Castle es atender a los trabajadores. Como resultado, tiende a localizarse cerca de la población objetivo y lejos de la competencia, como Wendy's y McDonald's. En contraste, las salas de exhibición de nuevos automóviles deliberadamente se ubican cerca unas de otras porque los clientes prefieren comparar precios en una sola área. En cada caso, la decisión sobre la localización refleja una estrategia particular.

Reconociendo el impacto estratégico que las decisiones sobre localización tienen en la implementación de la estrategia de la empresa y el diseño de la cadena de valor, se considerarán en primer término los factores cualitativos que incluyen en las decisiones sobre localización y sus implicaciones en toda la organización. Posteriormente, se examinará una importante tendencia en las pautas de localización: el uso de los sistemas de información geográfica (GIS, del inglés *geographical information systems*) para identificar los segmentos de mercado y cómo la atención a cada segmento puede afectar rentablemente las decisiones que toma la empresa acerca de su localización. Por último, se presentan algunas técnicas analíticas y basadas en GIS para tomar decisiones sobre la localización de una o varias instalaciones.

> DECISIONES DE LOCALIZACIÓN EN LA ORGANIZACIÓN <

Las decisiones relativas a la localización afectan los procesos y departamentos de toda la organización. Al decidir la localización de nuevas instalaciones de venta al detalle, por ejemplo, las tiendas de Wendy's, marketing debe evaluar con sumo cuidado cómo la localización atraerá a los clientes y posiblemente abrirá nuevos mercados. La reubicación de todo o parte de una organización puede afectar de manera considerable las actitudes del personal de la empresa y la capacidad de la organización para operar con eficacia en todas las líneas departamentales. La localización también tiene repercusiones en el departamento de recursos humanos de una empresa, el cual debe estar en sintonía con las necesidades de contratación y capacitación de la empresa. Localizar nuevas instalaciones o reubicar las existentes es un proceso generalmente costoso; por lo tanto, los departamentos de contabilidad y finanzas deben evaluar cuidadosamente estas decisiones. Por ejemplo, cuando BMW situó su planta manufacturera en Carolina del Sur, el entorno económico del estado y los incentivos monetarios ofrecidos por sus legisladores influyeron de manera decisiva en el resultado financiero relacionado con la nueva planta propuesta. Por último, el área de operaciones también cumple una función importante en las decisiones de localización porque ésta debe satisfacer la demanda actual de los clientes y propiciar el grado necesario de contacto con éstos (tanto con los clientes internos como externos). Las operaciones internacionales, como las de McDonald's, Ford y Wal-Mart introducen un nuevo conjunto de retos porque establecer y administrar instalaciones y empleados en países extranjeros puede ser muy difícil y consumir mucho tiempo.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación



Wal-Mart, la cadena de supermercados más grande del mundo, se ha globalizado. La marca registrada de la cara sonriente amarilla, los precios bajos y el enfoque en la atención al cliente se introdujeron primero en ciudades de Estados Unidos y después se llevaron a Canadá, Puerto Rico, Brasil, el Reino Unido, Alemania, Corea del Sur, Japón y China, así como a México.

FACTORES QUE AFECTAN LAS DECISIONES DE LOCALIZACIÓN

Los gerentes de las organizaciones de servicios y manufacturas tienen que sopesar muchos factores cuando evalúan la conveniencia de un sitio en particular, como la proximidad a clientes y proveedores, los costos de mano de obra y los costos de transporte. Generalmente, los gerentes pueden descartar los factores que no cumplen por lo menos una de las dos condiciones siguientes:

1. *El factor tiene que ser sensible a la localización*. Es decir, los gerentes no deben tomar en cuenta los factores que no resulten afectados por las decisiones sobre localización. Por ejemplo, si las actitudes de la comunidad son igualmente buenas en todas las localizaciones que se están considerando, las actitudes de la comunidad no deberán considerarse como un factor.
2. *El factor debe tener un fuerte impacto en la capacidad de la empresa para alcanzar sus metas*. Por ejemplo, aun cuando las diferentes instalaciones se localicen a distintas distancias de los proveedores, si los embarques se realizan por la noche para entregarse al día siguiente y las comunicaciones se realizan por fax o correo electrónico, no es probable que la distancia tenga un gran impacto en la capacidad de la empresa para alcanzar sus metas. Por lo tanto, no debe considerarse como un factor.

Los gerentes dividen los factores de localización en factores dominantes y secundarios. Los factores dominantes se derivan de las prioridades competitivas (costo, calidad, tiempo y flexibilidad) y tienen un efecto particularmente poderoso sobre las ventas o costos. Por ejemplo, un clima laboral favorable e incentivos monetarios fueron los factores dominantes que afectaron la decisión de localizar la planta de BMW en Spartanburg, Carolina del Sur. Los factores secundarios también son importantes, pero la gerencia tiene la posibilidad de restar importancia o incluso ignorar algunos de ellos si otros factores son más importantes. Así, para la planta Saturn de GM, que fabrica muchas partes en forma local, los costos de transporte entrante se consideraron menos importantes y, en consecuencia, fueron un factor secundario.

FACTORES DOMINANTES EN LA MANUFACTURA

Los siguientes seis grupos de factores dominan las decisiones que las empresas, entre ellas BMW, toman con respecto a la localización de nuevas plantas manufactureras.

1. Clima laboral favorable
2. Proximidad a los mercados
3. Calidad de vida
4. Proximidad a proveedores y recursos
5. Proximidad a las instalaciones de la empresa matriz
6. Costos de los servicios públicos, impuestos y bienes raíces

Clima laboral favorable Un clima laboral favorable puede ser el factor más importante para las empresas intensivas en mano de obra que pertenecen a industrias como: textiles, muebles y aparatos electrónicos de consumo. El clima laboral es una función de las tarifas salariales, los requisitos de capacitación, las actitudes de la gente hacia el trabajo, la productividad del trabajador y la fuerza de los sindicatos. Muchos ejecutivos consideran que la presencia de sindicatos débiles o que la probabilidad de que surjan intentos de formar sindicatos sea baja constituyen una clara ventaja. El tener un clima favorable aplica no sólo a la fuerza de trabajo que ya se encuentra en el sitio, sino también, como ilustra el caso de la reubicación de la División de Energía de General Electric que se presenta en la práctica administrativa 11.1, a los empleados que la empresa espera trasladar o que el nuevo sitio atraerá.

Proximidad a los mercados Una vez que se ha determinado dónde es mayor la demanda de los bienes y servicios, la gerencia debe seleccionar una localización para establecer la instalación con la que habrá de satisfacer esa demanda. Ubicarse cerca de donde se localizan los mercados es particularmente importante cuando los productos finales son voluminosos o pesados y las tarifas de transporte *saliente* son altas. Por ejemplo, todos los fabricantes de ciertos productos, como las tuberías de plástico y los metales pesados, requieren proximidad a sus mercados.

calidad de vida

Factor que toma en consideración la disponibilidad de escuelas de prestigio, instalaciones recreativas, eventos culturales y un estilo de vida atractivo.

Calidad de vida Escuelas de prestigio, instalaciones recreativas, eventos culturales y un estilo de vida atractivo contribuyen a elevar la **calidad de vida**. Este factor puede influir muchísimo en las decisiones sobre localización. En Estados Unidos, durante las dos últimas décadas, más de 50% de los nuevos empleos industriales se crearon en regiones no urbanas. Un cambio similar se está produciendo en Japón y en Europa. Entre las razones que explican este movimiento figuran los altos costos de la vida, los índices elevados de criminalidad y la decadencia general de la calidad de vida en muchas de las grandes ciudades.

Proximidad a proveedores y recursos Las empresas que dependen de insumos y materias primas voluminosos, perecederos o pesados, subrayan la importancia de ubicarse cerca de sus proveedores y recursos. En esos casos, los costos de transporte *entrante* se convierten en un factor dominante y alientan a estas empresas a localizar sus instalaciones cerca de sus proveedores. Por

PRÁCTICA ADMINSTRATIVA 11.1 REUBICACIÓN DE LA DIVISIÓN DE ENERGÍA DE GENERAL ELECTRIC

La División de Energía de General Electric, que cuenta con 4,700 empleados, es uno de los principales proveedores mundiales de tecnología para la generación de energía, servicios de energía y sistemas de administración, y es la unidad de negocios más grande dentro de GE, ya que registra ingresos de más de 15,000 millones de dólares. La decisión en 2001 de reubicar las oficinas corporativas de la División de Energía de Schenectady, Nueva York, a Atlanta, Georgia, fue sorprendente, porque GE tenía un historial de 100 años en Nueva York que se remontaba a la época de Thomas Edison. Sin embargo, el traslado era necesario debido, entre otras razones, a que la base de clientes de GE se había mudado geográficamente con el tiempo y la reubicación proporcionaría mejor acceso a los clientes.

La decisión sobre la reubicación se tomó con base en las condiciones de vida más favorables y el clima de Georgia, además de otros factores, como la proximidad de numerosas compañías de luz y fuerza (los principales compradores de las turbinas de GE), acceso conveniente al aeropuerto de Hartsfield y, lo más importante, una reserva disponible de trabajadores orientados tecnológicamente. Además, varias entidades gubernamentales de Atlanta ofrecieron a GE incentivos muy importantes para que se trasladara a esa ciudad. El proceso de selección tardó casi seis años en completarse porque había demasiadas cosas en juego. Una de las preocupaciones de John Rice, presidente y director general, era que muchos de los empleados actuales no quisieran mudarse al área de Atlanta. Sin embargo, Rice señaló: “La calidad de vida (vivienda barata, muchas actividades recreativas, buenos eventos culturales y clima favorable) era tan atractiva que pocos trabajadores rechazaron nuestra oferta de traslado”. Como resultado, la fuerza de trabajo en Nueva York se redujo considerablemente, aun cuando la planta de esa ciudad seguía funcionando como una unidad manufacturera. La mudanza fue beneficiosa tanto para Atlanta como para GE. En la zona de Atlanta el número de empleos aumentó, en tanto que GE experimentó un crecimiento sostenido. La situación tiene a Rice silbando alegremente la tonada de Dixie.



A pesar de 100 años de historia en Schenectady, Nueva York, la división se mudó a Atlanta en 2001. Uno de los diversos factores que impulsaron la medida fue que una gran parte de los clientes de GE se encuentran concentrados en y alrededor de Atlanta y que la ciudad tiene una amplia base de trabajadores cuyo talento está orientado tecnológicamente.

Fuentes: “Power System’s Relocation to Atlanta Is Official”, *The Business Review,* 9 de febrero de 2001; www.bizjournals.com/albany; P. Galuszka, “The South Shall Rise Again”, *Chief Executive,* noviembre de 2004, pp. 50–54.

ejemplo, resulta práctico ubicar las fábricas de papel cerca de los bosques, y las instalaciones procesadoras de alimentos, cerca de los productores agrícolas. Otra ventaja de localizarse cerca de los proveedores es la posibilidad de mantener inventarios más bajos.

Proximidad a las instalaciones de la empresa matriz En muchas empresas, las plantas proveen de partes a otras instalaciones o dependen de estas últimas para recibir apoyo administrativo y de personal. Estos vínculos requieren contactos frecuentes de coordinación y comunicación, los cuales suelen ser más difíciles a medida que aumenta la distancia.

Costos de servicios públicos, impuestos y bienes raíces Otros factores que intervienen en las decisiones de localización son: costos de servicios públicos (teléfono, energía y agua), impuestos locales y estatales, incentivos de financiamiento ofrecidos por gobiernos locales o estatales, costos de reubicación y costos de la tierra. Por ejemplo, la localización de la planta de Daimler Chrysler en Alabama para fabricar sus vehículos “serie M”, la planta de BMW en Carolina del Sur que se comentó en la viñeta de introducción, y una planta de Toyota en Georgetown, Kentucky, fueron atractivas para estas compañías debido en parte a los incentivos que les ofrecieron los gobiernos locales.

Otros factores Es posible que sea necesario tomar en consideración otros factores, entre ellos, las posibilidades de expansión, los costos de construcción, la accesibilidad a múltiples medios de transporte, el costo de los desplazamientos de personal y materiales entre las plantas, los costos de seguros, la competencia de otras empresas por la fuerza de trabajo, las disposiciones locales (como la regulación contra la contaminación o el ruido), las actitudes de la comunidad y muchos más. Para establecer sus operaciones mundiales, las empresas necesitan una buena infraestructura local y empleados locales calificados que tengan una buena formación. Muchas empresas están llegando a la conclusión de que las grandes instalaciones manufactureras centralizadas, en países de bajo costo, con trabajadores escasamente capacitados, no resultan sostenibles. Las instalaciones más pequeñas y flexibles, localizadas en los países que la empresa atiende, le permiten evitar los proble-

mas relacionados con las barreras al comercio, como los aranceles y cuotas, y el riesgo de que las fluctuaciones en el tipo de cambio de las divisas afecten negativamente las ventas y utilidades.

FACTORES DOMINANTES EN LOS SERVICIOS

Los factores mencionados en el caso de los productores manufactureros también se aplican a los proveedores de servicios, con una importante adición: el impacto que la localización tiene en las ventas y la satisfacción del cliente. Por lo general, a los clientes les interesa la cercanía de las instalaciones de servicios, sobre todo si el proceso en cuestión requiere un grado considerable de contacto personal.

Proximidad a los clientes La localización es un factor clave para determinar el grado de comodidad con que los clientes pueden llevar a cabo sus transacciones con una empresa. Por ejemplo, pocas personas irán a una tintorería o supermercado localizado en sitios distantes, si existen otros en lugares más accesibles. Así, la influencia de la localización en los ingresos tiende a ser el factor dominante. Además, la proximidad a los clientes no basta por sí sola: la clave radica en la proximidad a los clientes que frecuentarán la instalación y buscarán sus servicios. Por ejemplo, Mirage abrió el opulento casino Beau Rivage en Biloxi, Mississippi, en 1999. Los ingresos obtenidos fueron inferiores a lo que se esperaba porque el nuevo casino no satisfacía bien las necesidades de los clientes locales, que iban a verlo y admirarlo, pero jugaban en otras partes. Los ingresos repuntaron sólo después de que la cocina del Beau Rivage se adaptó a los gustos locales, se redujeron los costos, se incrementó la capacidad de estacionamiento con acomodadores y se introdujeron otros cambios. Estar cerca de los clientes que encajan en el mercado objetivo y la oferta de servicios de la empresa es, por tanto, importante para la rentabilidad.

Costos de transporte y proximidad a los mercados Los costos de transporte y la proximidad a los mercados son factores sumamente importantes para las operaciones de almacenamiento y distribución. Si disponen de un almacén cercano, muchas empresas pueden tener sus inventarios más cerca del cliente, lo cual reduce el tiempo de entrega y promueve las ventas. Por ejemplo, Invacare Corporation de Elyria, Ohio, obtuvo una ventaja competitiva en la distribución de productos para el cuidado de la salud en el hogar, descentralizando su inventario en 32 almacenes repartidos por todo el país. Invacare vende sillas de ruedas, camas de hospital y otros aparatos auxiliares para los pacientes (algunos de los cuales produce la propia empresa y algunos más que compra a otras empresas) a pequeños distribuidores que los venden a los consumidores. Anteriormente, los distribuidores, que con frecuencia eran pequeños negocios familiares, debían esperar tres semanas para la entrega de los productos, lo cual significaba que la empresa tenía gran parte de su capital inmovilizado en excedentes de inventarios. Con la nueva red de distribución de Invacare, los distribuidores reciben diariamente los productos de una sola fuente. La estrategia de localización de Invacare demuestra cómo la entrega oportuna puede ser una ventaja competitiva.

Localización de los competidores Una complicación relacionada con la estimación del potencial de ventas en diferentes localizaciones es el impacto de la competencia. La gerencia no sólo debe considerar la ubicación actual de sus competidores, sino también tratar de prever cuál será su reacción ante la nueva localización de la empresa. Muchas veces es conveniente evitar las áreas donde la competencia ya está bien establecida. Sin embargo, en algunas industrias, como las salas de exhibición y venta de automóviles nuevos y las cadenas de comida rápida, realmente puede ser provechoso establecerse cerca de los competidores. La estrategia consiste en crear una **masa crítica**, pues se considera que varias empresas competidoras agrupadas en un lugar determinado atraen a más clientes que la suma total de los que acudirían a comprar a esas mismas tiendas si estuvieran lejos unas de otras. Reconociendo este efecto, algunas empresas adoptan la estrategia de "emular al líder" cuando tienen que seleccionar nuevas localizaciones.

masa crítica
Situación en la que varias empresas competidoras agrupadas en un lugar atraen a más clientes que la suma total de los que acudirían a comprar a esas mismas tiendas si estuvieran lejos unas de otras.

Factores específicos del lugar Los detallistas también deben considerar el nivel de actividad del comercio al detalle, la densidad residencial, los flujos de tránsito y la visibilidad del local. La actividad del comercio al detalle en el área es importante porque ocurre con frecuencia que los compradores, llevados por un impulso, deciden ir de compras o comer en un restaurante. Los flujos de tránsito y la visibilidad son importantes porque los clientes de esos negocios llegan en automóvil. La gerencia estudia los posibles embotellamientos, el volumen y la dirección del tránsito a las diferentes horas del día, las señales viales, las intersecciones y la localización de los camellones. La visibilidad se refiere a la distancia de la calle y las dimensiones de los letreros y edificios cercanos. Una densidad residencial alta aumenta las ventas durante la noche y los fines de semana si la población de la zona se ajusta a las prioridades competitivas de la empresa y su segmento de mercado objetivo.

> SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y DECISIONES DE LOCALIZACIÓN <

sistema de información geográfica (GIS)
Sistema de software, hardware y datos que el personal de la empresa puede usar para manipular, analizar y presentar información relacionada con una decisión sobre localización.

Un **sistema de información geográfica (GIS)** es un sistema de software, hardware y datos que el personal de la empresa puede usar para manipular, analizar y presentar información relacionada con una decisión sobre localización. Un GIS también puede integrar diferentes sistemas para crear una

representación visual de las opciones de localización de una empresa. Entre otras cosas, se usa para: (1) almacenar bases de datos,; (2) mostrar mapas, y (3) crear modelos que toman información de conjuntos existentes de datos, aplican funciones analíticas y escriben los resultados en nuevos conjuntos de datos derivados. En conjunto, estas tres funcionalidades de almacenamiento de datos, presentación de mapas y creación de modelos, son partes cruciales de un GIS inteligente y se usan en diferentes medidas en todas las aplicaciones GIS. La práctica administrativa 11.2 ilustra cómo las cadenas de comida rápida usan los GIS para seleccionar los lugares donde pueden establecerse.

Un sistema GIS puede ser una herramienta muy útil para tomar decisiones porque muchas de las decisiones que las empresas toman en la actualidad tienen un aspecto geográfico. Un GIS almacena información en varias bases de datos que pueden relacionarse naturalmente con lugares, como las ventas y localizaciones de los clientes, o un sector censal, o el porcentaje de habitan-

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 11.2 CÓMO LAS CADENAS DE COMIDA RÁPIDA USAN LOS GIS PARA SELECCIONAR LOS LUGARES DONDE ESTABLECERSE

Hasta hace poco tiempo, las cadenas de comida rápida recurrían a los servicios de consultores para analizar lo datos geodemográficos (descripción de diferentes características de las personas basada en el lugar donde viven o trabajan) para la planificación estratégica y tomar decisiones sobre la localización de las franquicias y marketing. Ahora, con la disponibilidad de los sistemas GIS fáciles de usar, que cuestan menos de $5,000 y pueden operarse en una computadora común y corriente, las cadenas de comida rápida, pequeñas y grandes, realizan la tarea por su cuenta. Por ejemplo, Marco's Franchising, con sede en Toledo, Ohio, tiene en la actualidad 127 restaurantes Marco's Pizza, principalmente en Ohio, Indiana, Michigan y Nevada. Marco's Franchising usa soluciones GIS de MapInfo para identificar nuevos mercados donde el panorama de clientes y competidores es mejor para sus nuevos establecimientos. Las tecnologías Smart Site Solutions y AnySite Online de MapInfo proporcionan funcionalidad interactiva para trazar mapas y presentar informes que permiten examinar las estrategias de implementación a nivel de mercado y las oportunidades para sitios individuales. Estos programas pueden estimar el total de dólares a disposición de cualquiera en un mercado mediante el análisis de los datos locales de edad e ingresos proporcionados por la Oficina del Censo de Estados Unidos, así como los datos de ventas de las tiendas del área (cifras que comúnmente se pueden conseguir con terceros proveedores). Los programas también pueden indicar el número óptimo y localizaciones de las tiendas en un mercado y cuántas ventas puede esperar una tienda. Se pueden ejecutar análisis de cualquier mercado estadounidense y clasificarlos por orden de viabilidad. Una lista de sitios realista con alto potencial de ventas puede elaborarse a veces en menos de un minuto. Otras cadenas pequeñas de comida rápida en Estados Unidos, como Cousins Subs y 99 Restaurants and Pubs, están usando internamente el GIS por el que obtienen un buen rendimiento de las inversiones. Por ejemplo, 99 Restaurants and Pubs descubrió que lograron recuperar su inversión relacionada con el sistema GIS en tan sólo una semana.

Las cadenas nacionales de comida rápida, como Domino's Pizza, usan software GIS para examinar y seleccionar sitios dónde establecer nuevas franquicias, determinar cómo puede afectar las ventas el mover una tienda a unas cuantas cuadras de distancia y decidir cuándo reubicarse o remodelar las tiendas existentes. También pueden usar el GIS para identificar las zonas de reparto que coinciden en parte y las que no están cubiertas. AFC Enterprises, que es propietario y vendedor de franquicias de la cadena de restaurantes Popeye's y Church's, usa el sistema GIS como ayuda para vender franquicias. El nivel de información detallada que puede proporcionar a los posibles compradores de las franquicias influye decisivamente para cerrar el trato. La compañía desarrolló un sistema basado en GIS, llamado AFC Online, que permite a los compradores de franquicias realizar su propio análisis geográfico.

Arby's y Burger King usan GIS para analizar de dónde vienen sus clientes y cómo llegan a sus establecimientos. Esta información les permite determinar el efecto de la invasión de otros restaurantes de comida rápida, así como la canibalización de sus propios establecimientos. En general, los consumidores sólo recorren 8 kilómetros para ir a un restaurante de comida rápida. Sin embargo, Arby's descubrió que sus clientes que compran sándwiches de rosbif tienden a estar 20% más lejos que los clientes que compran los platos de pollo. En consecuencia, Arby's es más un restaurante de destino para sus ofertas de rosbif que para sus ofertas de pollo.



Un restaurante Burger King en Redwood City, California. Burger King utiliza un sistema de información geográfica para saber si otros restaurantes de comida rápida u otros establecimientos de su misma cadena afectan negativamente las ventas de alguno de sus restaurantes.

Debido a la capacidad de proporcionar estos datos, GIS es una herramienta útil para ampliar las cadenas de comida rápida que necesitan dominar con rapidez los detalles demográficos de los terrenos competitivos en miles de ubicaciones en todo el país. "Hace años, otros como yo hacían esto por instinto", comenta John Dawson, director de desarrollo de Dunkin' Brands, la empresa matriz, con sede en Canton, Massachusetts, de Dunkin' Donuts, Baskin-Robbins y Togo's. "Teníamos que ir a tocar de puerta en puerta y pararnos en las esquinas con contadores manuales y usar nuestro criterio de la mejor manera posible. El proceso tardaba mucho tiempo, era muy arduo y cometíamos muchos errores". Entonces, en 1998, Dunkin' Brands, una unidad de Allied Domecq PLC, con sede en el Reino Unido, empezó a usar el software iSITE de geoVue Inc. En esa época, Dunkin' Brands abría alrededor de 300 tiendas al año. Hoy en día, tiene más de 12,000 establecimientos en todo el mundo, y espera agregar aproximadamente 800 al año en los próximos años. "Nuestra meta es llegar a más 1,000 por año", asegura Dawson. "Y no podríamos lograrlo sin estas herramientas".

Fuentes: www.gis.com/whatisgis/index.html; Ed Rubinstein, "Chains Chart Their Course of Actions with Geographic Information Systems", *Nation's Restaurant News,* volumen 32, número 6, 1998, p. 49; "MapInfo Delivers Location Intelligence for Marco's Pizza", *Directions Magazine,* 14 de diciembre de 2004, www.directionsmag.com/ press.releases/?duty=Show&id=10790; Ryan Chittum, "Location, Location, and Technology: Where to Put That New Store? Site-Selection Software May Be Able to Help", *Wall Street Journal.* 18 de julio de 2005, p. R7.

tes en ese sector que perciben ciertos ingresos al año. La demografía de un área incluye el número de personas en el área estadística metropolitana, ciudad o código postal; promedio de ingresos; número de familias con hijos; etcétera. Estos datos demográficos pueden ser variables importantes en la decisión de cómo llegar mejor al mercado objetivo. Asimismo, el sistema de caminos, que incluye puentes y autopistas; la ubicación de los aeropuertos y puertos marítimos cercanos; y el terreno (montañas, bosques, lagos, etcétera), desempeñan una función importante en las decisiones sobre la localización de las instalaciones. Como tal, un GIS puede tener un conjunto de diversas aplicaciones relacionadas con la localización en diferentes industrias, como el comercio al detalle, bienes raíces, gobierno, transporte y logística.

Como también se destaca en la práctica administrativa 11.2, los datos gubernamentales proporcionan una gran cantidad de información estadística que puede usarse para tomar mejores decisiones de localización basadas en GIS. Por ejemplo, la Oficina del Censo de Estados Unidos tiene un mapa computarizado, sumamente detallado, de todo el territorio del país: el así llamado archivo Tiger. Su nombre formal es *Topologically Integrated Geographic Encoding and Reference File*. Allí aparecen en formato digital todas las carreteras, calles, puentes y túneles que existen en los 50 estados de la Unión Americana. Cuando se combina con una base de datos, como la de los resultados del censo o los archivos de clientes de una empresa, Tiger proporciona funcionalidades del tipo GIS y da a los usuarios de computadoras la capacidad de formular varias preguntas hipotéticas sobre diferentes alternativas de localización. Los sitios de Internet en Yahoo!, Mapquest y Expedia, entre otros, permiten a la gente desplegar mapas y calcular distancias y tiempos de viaje, así como ver las rutas entre dos puntos (por ejemplo, entre Toronto, Ontario y San Diego, California). Además, los motores de búsqueda, como Google, pueden integrarse con demografía de la población para crear información de interés en los campos de negocios y sociales. Los sitios Web están usando mapas de Google para mostrar lugares donde se ha cometido algún delito, la ubicación de gasolineras baratas y departamentos en alquiler.

Hay muchos tipos diferentes de paquetes GIS en el mercado, como ArcInfo (de ESRI), MapInfo (de MapInfo), SAS/GIS (de SAS Institute, Inc.), y SiteAmerica (de Tactician). Muchos de estos sistemas están adaptados a una aplicación específica, como localización de tiendas detallistas, división de distritos legislativos, análisis de datos de logística y marketing, administración ambiental, etcétera. Sin embargo, en este capítulo se explora el uso de un GIS particular, MapPoint 2004 de Microsoft. Una de las mejores características de MapPoint es que los mapas y buena parte de los datos del censo vienen incluidos en el propio software, mientras que en muchos otros sistemas, los mapas y datos se compran por separado al proveedor del software GIS. MapPoint es un GIS fácil de usar y relativamente barato, que se centra sobre todo en el uso empresarial cotidiano por parte de analistas no técnicos. Su capacidad de mostrar información en mapas puede ser una potente herramienta para la toma de decisiones.

USO DE GIS PARA IDENTIFICAR LOCALIZACIONES Y SEGMENTOS DEMOGRÁFICOS DE CLIENTES



El video de Starbucks en el CD-ROM del estudiante muestra cómo realizar un análisis geodemográfico con MapPoint 2004.

GIS puede ser útil para identificar localizaciones que se relacionan bien con el mercado objetivo de una empresa, con base en la demografía de los clientes. Cuando se combina con otros modelos de localización y pronóstico de ventas y sistemas geodemográficos, puede darle a la empresa una gama formidable de herramientas para la toma de decisiones sobre localización, como ilustra la práctica administrativa 11.3, acerca de cómo Starbucks toma una de sus decisiones estratégicas más importantes: la localización de sus establecimientos.

Para ofrecer una visión práctica de la aplicación de GIS y la demografía y comprender mejor las decisiones tomadas por Starbucks en cuanto a la localización de sus tiendas, se examinará en detalle el área de Hamilton, Ontario, que se muestra en el mapa de la zona comercial en la práctica administrativa 11.3. Las direcciones de los establecimientos de Starbucks situados a menos de 32 kilómetros de Hamilton se obtuvieron en el sitio Web de Starbucks y se importaron en MapPoint. La localización de estas tiendas se denota por medio de puntos amarillos alrededor de los marcadores de tazas de café en la figura 11.1(a). A continuación, los datos demográficos que vienen con MapPoint se superpusieron al mapa. El mapa así obtenido muestra la densidad de población por kilómetro cuadrado, por cada subdivisión del censo. Hamilton (el área más oscura) tiene una densidad de población de 2,730 habitantes por kilómetro cuadrado, en tanto que Oakville tiene una densidad de población de 1,024 por kilómetro cuadrado. Sin embargo, en Oakville hay más tiendas que en Hamilton. Esto deja entrever que la localización de las tiendas no se decide solamente con base en la densidad de población. La zona más densamente poblada alrededor de Hamilton tiene sólo una tienda Starbucks; una investigación posterior reveló que ésta se encuentra en una calle que lleva al aeropuerto. En contraste, Ancaster, en la esquina inferior izquierda del mapa tiene una cafetería Starbucks, a pesar de que su densidad de población es de sólo 141 por kilómetro cuadrado.

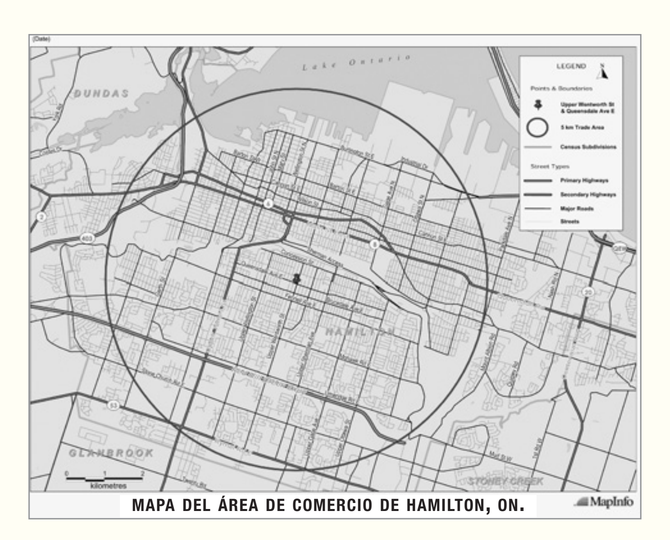
En seguida, se estudió si el ingreso per cápita podía explicar la ubicación de las tiendas de Starbucks. El segundo mapa, en la figura 11.1(b), muestra la demografía por ingreso familiar promedio per cápita. Cuando se aplican estos datos al mapa, se aprecia que Oakville y Ancaster (las ciudades

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 11.3 RETOS DE LOCALIZACIÓN PARA STARBUCKS

Un aspecto muy importante de la estrategia de servicio de Starbucks es la localización de sus establecimientos. Sólo en 2044, la cadena inauguró aproximadamente 1,300 tiendas, con las que el total aumentó a más de 9,400 tiendas. A este crecimiento formidable contribuye la tecnología de selección de nuevos sitios. Starbucks se vale del análisis de localización para evaluar dónde abrir nuevas tiendas.

En los primeros tiempos de Starbucks, un número relativamente pequeño de gente participaba en las decisiones sobre las nuevas tiendas, lo que era más un proceso empírico que sistemático. Sin embargo, a medida que Starbucks iba creciendo, más planificadores participaban en el proceso y aplicaban un análisis más formal y estandarizado. Si el potencial de un sitio no estaba dentro de un cierto conjunto de parámetros, los planificadores no perdían el tiempo tomándolo en cuenta.

La estrategia original de Starbucks era expandirse a las principales áreas urbanas, agrupándose en las mejores localizaciones y colocando establecimientos unos frente a otros, a veces incluso en la misma cuadra. Este método maximizó la participación de mercado de la compañía en áreas que tenían el más alto potencial de volumen; por lo general, zonas urbanas de clases acomodadas. Entonces las áreas rurales empezaron a demandar que también se abrieran tiendas de Starbucks ahí. En los últimos años, la estrategia de expansión nacional de Starbucks evolucionó sin duda alguna. Los mercados de ciudades pequeñas y nuevos tipos de tiendas, como las que se localizan en centros comerciales y aeropuertos, se están utilizando. Otro cambio a la estrategia original es la implementación de un sistema GIS geodemográfico como herramienta de productividad y proceso. Este sistema GIS determina el impacto, en el trascurso de un año, de abrir una tienda adicional un día antes o después. El proceso de adquisición de sitios de Starbucks incluye una serie de elementos que usan modelos espaciales, geodemografía, así como los modelos de pronóstico de ventas que se basan en ellos. Para identificar posibles localizaciones, la compañía usa mapas, como el del área de comercio que se muestra aquí, para mostrar zonas que identifican con claridad lugares de concentración propicios para el consumo de café gourmet.



MAPA DEL ÁREA DE COMERCIO DE HAMILTON, ON.

Además de crecer a escala nacional, Starbucks también se expandió internacionalmente, y abrió tiendas en Asia, el Medio Oriente, Europa y América del Sur. Al buscar sitios potencialmente viables en el extranjero, Starbucks se topa con otros retos, como la falta de datos precisos disponibles. A nivel internacional, no hay una compilación de información por país. Además, los sistemas disponibles para usar esos datos varían. No hay un lugar central para obtener información sobre la disponibilidad de datos en ciertos países, lo que se traduce en problemas de comparabilidad y aumenta el riesgo de equivocarse en los análisis de expansión.

Aunque Starbucks continúa creciendo a ritmo acelerado, ya ha ocupado las mejores localizaciones en muchos mercados. La compañía se ve obligada ahora a buscar lugares de menor volumen que ofrezcan buenos rendimientos. Más que nunca, el uso del análisis de localización limita el riesgo de Starbucks, y ha adquirido importancia trascendental para la empresa.

Fuentes: "Location Analysis Tools Help Starbucks Brew Up New Ideas", *Business Geographics,* www.geoplace.com; Vijay Vishwanath y David Hardling, "The Starbucks Effect", *Harvard Business Review,* marzo–abril de 2000, pp. 17–18; página de información corporativa de Starbucks, www.starbucks.com junio de 2005.

más oscuras en el mapa 2) tienen un ingreso per cápita de 96,545 y 98,422 dólares canadienses, respectivamente. Burlington tiene una densidad de población moderada e ingresos per cápita también moderados. En Oakville hay cinco tiendas y en Burlington tres, todas ellas situadas en vías públicas muy transitadas. Así, por lo menos en este caso en particular, parece que Starbucks sitúa predominantemente sus tiendas en zonas de ingresos altos, y la futura expansión de las tiendas en el área es probable que tenga lugar en y alrededor de Ancaster, si la población de ahí sigue creciendo.

> ELECCIÓN ENTRE UNA EXPANSIÓN IN SITU, NUEVA LOCALIZACIÓN O REUBICACIÓN <

La gerencia deberá decidir primero entre las opciones de una expansión in situ, la construcción de otra instalación o la reubicación en otro lugar. La expansión in situ tiene la ventaja de mantener juntos a los empleados, reducir el tiempo y los costos de construcción, y evitar la separación de las operaciones. Sin embargo, es posible que una empresa expanda excesivamente una instalación y, en ese caso, se presentan deseconomías de escala. Un manejo deficiente de los materiales, la creciente complejidad del control de la producción y la simple falta de espacio son buenas razones para construir una nueva planta o para reubicar una ya existente.

Las ventajas de construir una nueva planta o mudarse a un nuevo espacio de oficinas o de venta al detalle son que la empresa no tiene que depender de la producción de una sola planta. Una nueva planta le permite contratar más empleados, instalar maquinaria más moderna y productiva y mejor tecnología, y reducir los costos de transporte. La mayoría de las empresas que op-

FIGURA 11.1(a)

Mapa de población de Hamilton, Ontario

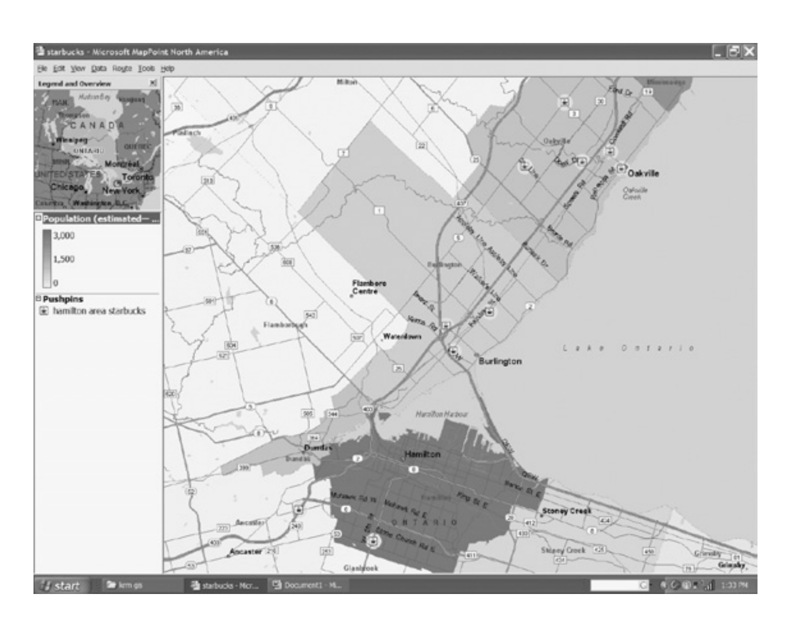
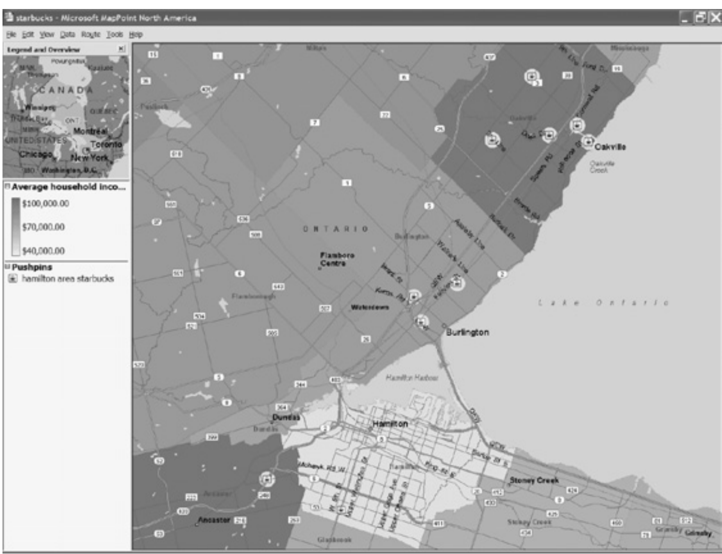


FIGURA 11.1(b)

Mapa de ingreso familiar per cápita de Hamilton, Ontario



tan por reubicarse son pequeñas (con menos de 10 empleados). Éstas tienden a ser empresas con una sola localización, que requieren más espacio y necesitan rediseñar sus procesos de producción y distribución. Más de 80% de las reubicaciones se realizan a menos de 32 kilómetros de la localización original de la compañía, lo cual permite a la empresa conservar a sus actuales empleados.

Es menos costoso reubicar una empresa orientada a los servicios que una empresa manufacturera. Debido a que la cercanía a los clientes es importante, la localización de las instalaciones de servicio debe reevaluarse constantemente en el contexto del desplazamiento de las poblaciones y sus necesidades cambiantes. A veces, una combinación de las tres opciones (quedarse en el mismo lugar, reubicarse y abrir una nueva instalación) podría tomarse en consideración de manera simultánea, como se ilustra en el ejemplo 11.1 con respecto a la localización de los servicios médicos de emergencia (SME) en Tyler, Texas.

EJEMPLO 11.1 — Localización de los servicios médicos de emergencia (SME) de Tyler

En Tyler, Texas, hay dos instalaciones de servicios médicos de emergencia (SME) para atender las necesidades de atención médica de la población. La localización de las dos instalaciones existentes de SME en Tyler se muestra en el mapa de la figura 11.2. Cada una está señalada con una cruz dentro de un círculo. La densidad de población de las zonas de cada ciudad también se muestra. Las áreas gris oscuro tienen hasta 5,000 habitantes por milla cuadrada. La parte sureste de Tyler, el sector censal 18.03, experimentó un rápido desarrollo y su población casi se duplicó en los últimos 12 años. Los residentes de este sector se han quejado de que los vehículos de los SME tardan mucho en llegar cuando los necesitan.

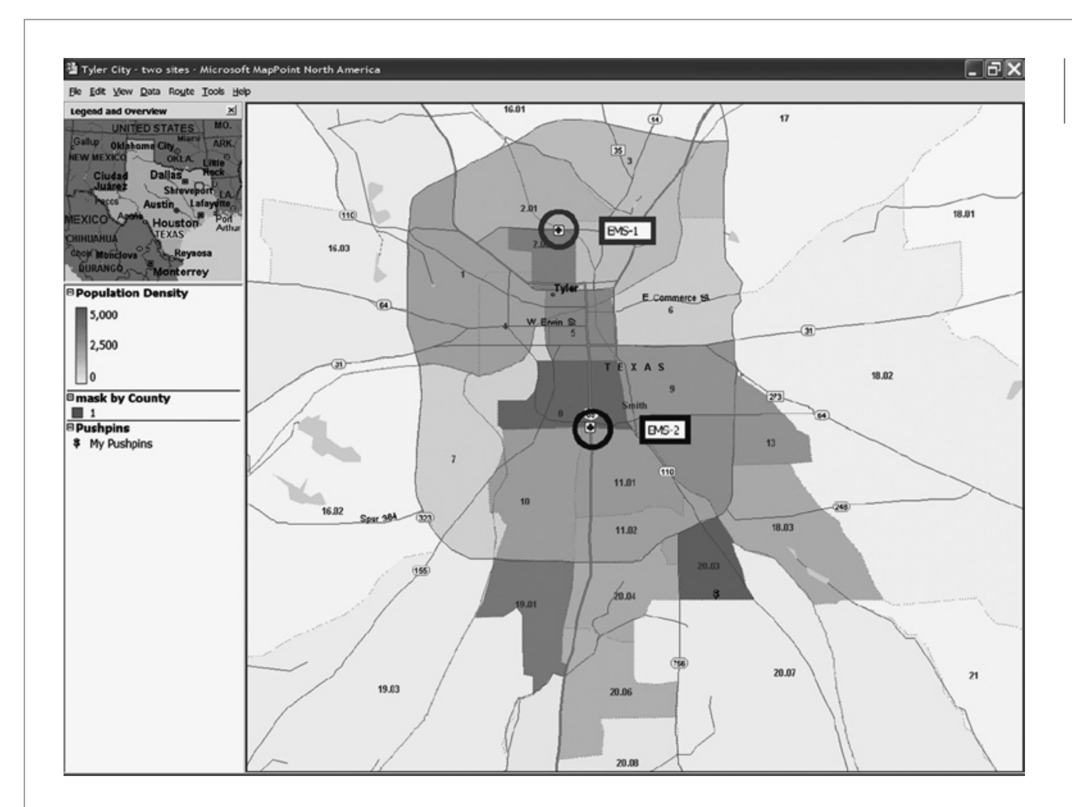


FIGURA 11.2

Pensidad de población de Tyler, Texas

Una norma general para situar las instalaciones de SME en las áreas urbanas es que un vehículo de SME debe ser capaz de responder 95% de las llamadas en menos de diez minutos. El ayuntamiento municipal de Tyler adoptó esta norma después de evaluar las quejas. El ayuntamiento decidió también que el sector censal 7, en la parte occidental de la ciudad, con una densidad de población de 967 habitantes por milla cuadrada, debía incluirse también en el estudio. Por tanto, los sectores censales de gris tan oscuro o más que el sector censal 7 deben estar dentro de una zona en la que se necesiten menos de 10 minutos para ir y venir de una instalación de SME en un vehículo. El ayuntamiento está dispuesto a redistribuir las instalaciones existentes en Tyler, así como a financiar una nueva localización, para tener un total de tres centros de SME.

¿Dónde deben localizarse las tres instalaciones de SME para alcanzar las metas de cobertura establecidas en Tyler? Suponga que cada instalación de SME tendrá capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de los residentes asignados a su área de cobertura.

SOLUCIÓN

Con MapPoint, es fácil calcular una zona de tiempo de conducción con sólo seleccionar el marcador e ir a "Tools" en la barra de menú para seleccionar la zona de tiempo de conducción en términos del número de minutos que tarda el recorrido. Los resultados se muestran en la figura 11.3. El circuito superior muestra la zona de tiempo de conducción de la instalación SME-1, y el circuito inferior muestra la zona de tiempo de conducción de la instalación SME-2. Este mapa sencillo confirma las quejas manifestadas por los habitantes del sector censal 18.03, la mayoría de los cuales quedan a más de 10 minutos de SME-2. De hecho, al ejecutar de nuevo la función de tiempo de conducción, se determina que se necesitan 16 minutos para cubrir todo el sector 18.03, lo que resulta claramente inaceptable. Además, una pequeña parte de los sectores censales 1 y 20.06 se hallan también dentro de la zona de 10 minutos de conducción con respecto a SME-2. En contraste, SME-1 se localiza más o menos en el centro y es capaz de cubrir la mayor parte de los sectores censales del norte de la ciudad. –En consecuencia, SME-1 puede quedarse donde está, pero la reubicación de SME-2 y la localización del nuevo SME-3 tienen que examinarse con mayor atención.

Varios conjuntos de localizaciones de SME se eligieron mediante un método de prueba y error y se evaluaron con MapPoint. Las soluciones de prueba se evaluaron en el área sin cubrir por la zona de tiempo de conducción y la densidad de población del área no cubierta, la cual se juzga observando el mapa de calles. El video en el CD-ROM del estudiante explora mejor estas alternativas. Mientras más grande sea el grado de cobertura logrado, mejor será la solución. La mejor solución para las tres instalaciones de SME que fue posible encontrar se ilustra en el mapa de la figura 11.4, que muestra diferentes zonas de tiempo de conducción de diferentes tonos de gris para cada una de las tres instalaciones. Por desgracia, una pequeña región del sector censal 20.06 (en la parte inferior del mapa) aún no está dentro de la zona de tiempo de conducción de menos de 10 minutos.

Sin embargo, todo el sector censal puede cubrirse en una zona de 12 minutos de conducción. La población de ese sector censal representa menos de 5% del área en investigación, y la parte sin cubrir es un pequeño porcentaje del sector censal. Como es evidente, más de 95% de la población del área de la ciudad quedará a menos de 10 minutos de un centro de SME con la configuración recomendada.



El video de SME de Tyler en el CD-ROM del estudiante muestra cómo realizar un análisis de reubicación usando MapPoint 2004.

FIGURA 11.3

Tiempos de respuesta de los SME en Tyler, Texas

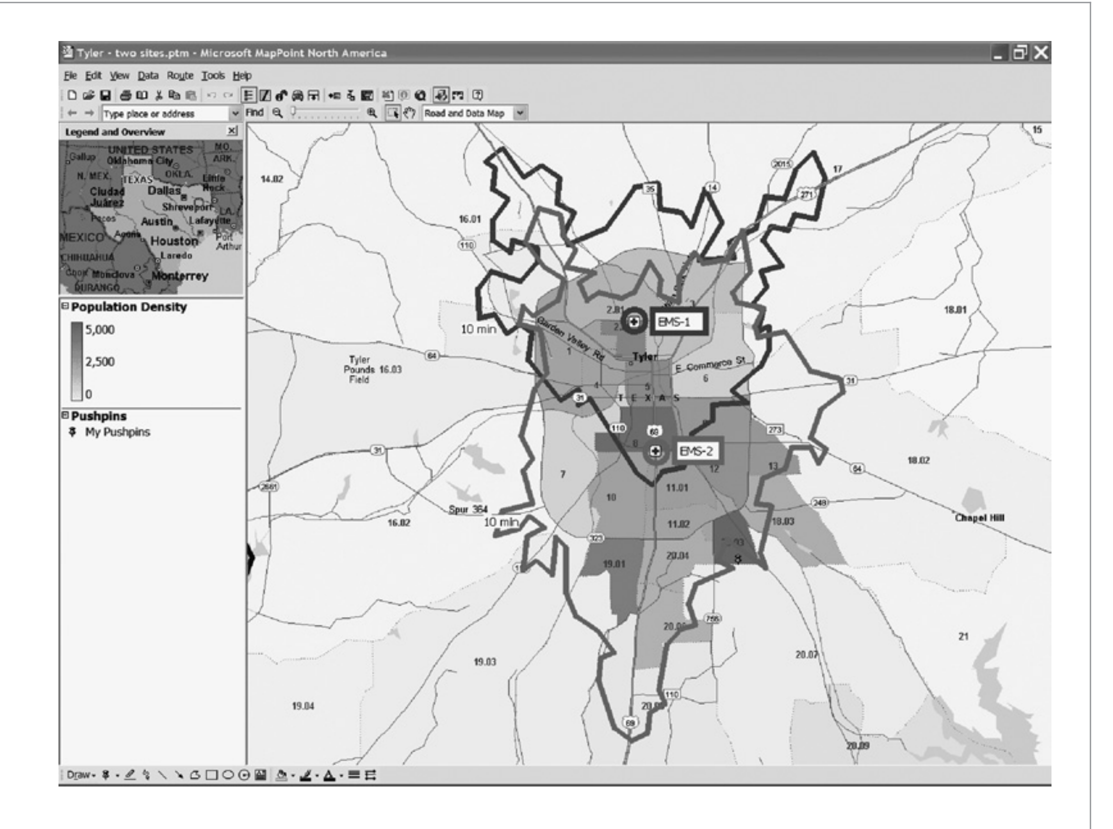
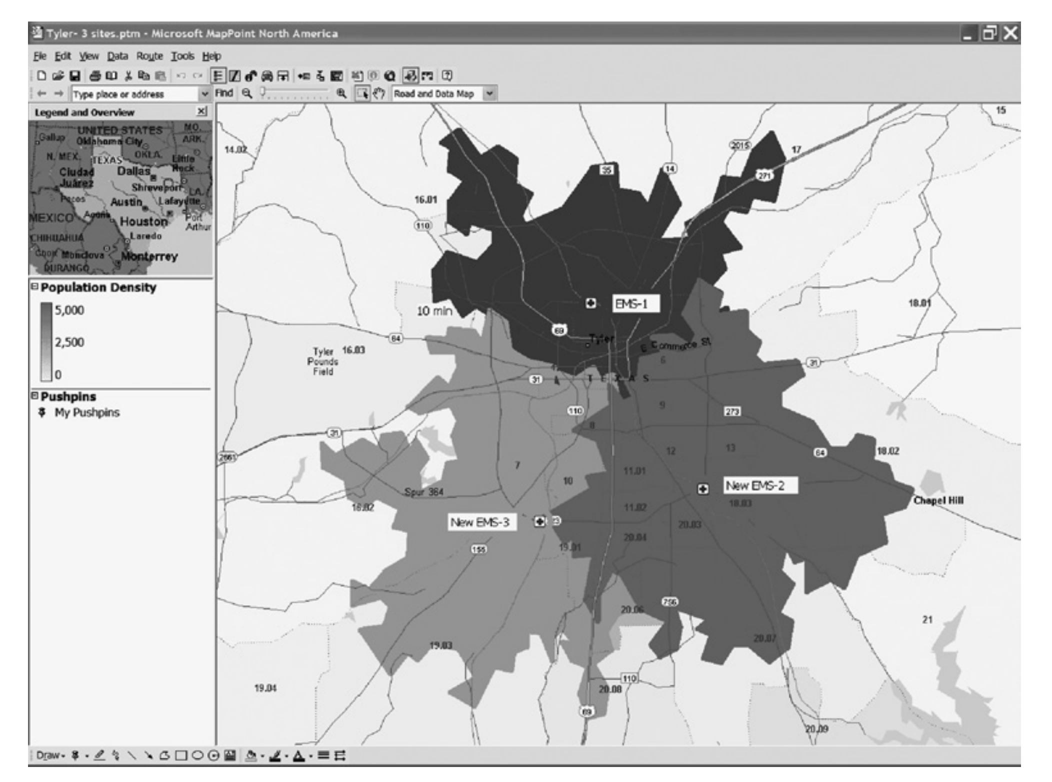


FIGURA 11.4

Solución recomendada para los tres centros de SME en Tyler, Texas



Punto de decisión Se debe mantener SME-1 en su localización actual y ubicar SME-2 en la orilla del sector censal 18.03 en la parte sur de Tyler. La tercera instalación de SME se creará cerca de la intersección de los sectores censales 7, 10 y 19.01.

LOCALIZACIÓN DE UNA SOLA INSTALACIÓN

Después de examinar las tendencias y los factores importantes de la localización, ahora se verá más específicamente cómo hace una empresa para tomar decisiones sobre localización. En esta sección se considerará el caso de la localización de una sola instalación. Si la instalación forma parte de una red de instalaciones de una empresa, se supondrá que no existe interdependencia alguna entre ellas; es decir, que la decisión de abrir un restaurante en Tampa, Florida, es independiente de que la cadena ya cuente con un restaurante en Austin, Texas. Comenzaremos por considerar cómo se determina si en verdad hace falta una nueva localización y después examinaremos un proceso de selección sistemática, con ayuda de lo que se conoce como *método de carga-distancia* para tratar las cuestiones de proximidad.

COMPARACIÓN ENTRE VARIOS SITIOS

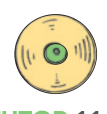
Un proceso de selección sistemática comienza cuando se tiene la impresión o existen indicios de que el desempeño mejorará si se abre, en una nueva localización, un centro de ventas al detalle, un almacén, una oficina o una planta. En una gran corporación, la decisión de selección puede estar a cargo de un equipo de personas; en una empresa pequeña, es posible que un solo individuo tome tal decisión. El proceso de seleccionar la localización de una nueva instalación implica seguir una serie de pasos.

1. Identifique los factores importantes de localización y clasifíquelos como dominantes o secundarios.
2. Considere regiones alternativas; reduzca después las opciones a comunidades alternativas y, por último, a sitios específicos.
3. Recopile datos acerca de las alternativas, solicitándolos a asesores de localización, organismos estatales de desarrollo, departamentos de planificación municipales y federales, cámaras de comercio, urbanistas, empresas de suministro de energía eléctrica, bancos, y por medio de visitas a cada lugar. Algunos de estos datos e información también pueden estar contenidos dentro del GIS.
4. Analice los datos recopilados, comenzando con los factores *cuantitativos*, es decir, los que es posible medir en valor monetario, como los costos anuales de transporte o los impuestos. Los factores cuantitativos también pueden medirse en otros términos que no sea el valor monetario, como el tiempo de conducción y el kilometraje. Esos valores monetarios pueden dividirse en diferentes categorías de costos (por ejemplo, costos de transporte entrante y saliente, mano de obra, construcción y servicios públicos) y en fuentes de ingresos separadas (por ejemplo, ventas, emisiones de acciones o bonos, e ingresos por concepto de intereses). Estos factores financieros pueden convertirse después en una sola medida de mérito financiero [por ejemplo, los costos totales, el rendimiento de la inversión (ROI, del inglés *return on investment*), o valor presente neto (NPV, del inglés *net present value)*] y usarla para comparar dos o más sitios, en especial si también se toman en consideración los costos de capital de la nueva instalación.
5. Incorpore a la evaluación los factores cualitativos correspondientes a cada sitio. Un factor *cualitativo* es aquel que no puede evaluarse en términos monetarios: por ejemplo, las actitudes de la comunidad o la calidad de vida. Para fusionar los factores cuantitativos y cualitativos, algunos gerentes revisan el desempeño esperado de cada uno de ellos, en tanto que otros asignan a cada factor una ponderación de importancia relativa y calculan una puntuación ponderada para cada sitio, utilizando una matriz de preferencias. Lo que tiene importancia en una situación puede carecer de ella o ser menos importante en otra. El sitio que obtiene al final la puntuación ponderada más alta es el mejor.

Después de haber examinado minuciosamente todos los posibles sitios, los autores del estudio preparan un informe final con sus recomendaciones al respecto, junto con un resumen de los datos y análisis en los que se basaron. En las grandes empresas, generalmente se envía a la alta dirección una presentación audiovisual de las conclusiones fundamentales.

Cálculo de puntuaciones ponderadas en una matriz de preferencias EJEMPLO **11.2**

Una nueva instalación médica, Health-Watch, se va a ubicar en Erie, Pennsylvania. La siguiente tabla muestra los factores de localización, ponderaciones y puntuaciones (1 = deficiente, 5 = excelente) correspondientes a un posible sitio. En este caso, las ponderaciones suman 100% en total. Se calculará una puntuación ponderada para cada sitio. ¿Cuál es la puntuación ponderada para este sitio?



TUTOR 11.1

El tutor 11.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar con una matriz de preferencias para decisiones sobre localización.

Factor de localización	Ponderación	Puntuación
Total de pacientes-millas por mes	25	4
Utilización de la instalación	20	3
Tiempo promedio por viaje de emergencia	20	3
Accesibilidad de autopistas	15	4
Costos del terreno y la construcción	10	1
Preferencias de los empleados	10	5

SOLUCIÓN

La puntuación ponderada *(WS)* de este sitio en particular se calcula multiplicando la ponderación de cada factor por su puntuación y sumando los resultados:

$$\begin{aligned} WS &= (25 \times 4) + (20 \times 3) + (20 \times 3) + (15 \times 4) + (10 \times 1) + (10 \times 5) \\ &= 100 + 60 + 60 + 60 + 10 + 50 \\ &= 340 \end{aligned}$$

La puntuación ponderada total de 340 puede compararse con las puntuaciones ponderadas totales correspondientes a otros sitios sometidos a evaluación.

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CARGA-DISTANCIA

En el proceso de selección sistemática, el analista tiene que identificar localizaciones potenciales atractivas y compararlas entre sí, en términos de los factores cuantitativos. El método de carga-distancia facilita este paso. Funciona de manera muy parecida al método de distancia ponderada que se usa para el diseño de distribuciones de flujo flexible. Varios factores de localización se relacionan directamente con la distancia: la proximidad a los mercados, la distancia promedio a los clientes que se desea captar, la proximidad a los proveedores y los recursos, y la proximidad a otras instalaciones de la empresa. El **método de carga-distancia** es un modelo matemático que se usa para evaluar localizaciones con base en factores de proximidad. El objetivo es seleccionar una localización que minimice la suma de las cargas por la distancia que recorre la carga. El tiempo puede usarse en lugar de la distancia, sí así se desea.

método de carga-distancia

Modelo matemático que se usa para evaluar localizaciones con base en factores de proximidad.

Cálculo de la puntuación carga-distancia Suponga que una empresa está planeando una nueva localización y desea seleccionar un sitio en cual se minimicen las distancias que deben recorrer las cargas, sobre todo las más grandes, desde y hacia él. Según la industria de que se trate, la *carga* puede consistir en embarques enviados por proveedores, embarques transportados entre plantas o enviados a clientes, pero también puede consistir en clientes o empleados que viajan hacia o desde la instalación. La empresa trata de minimizar su puntuación de carga-distancia (*ld,* del inglés *load-distance*), y para esto generalmente elige una localización en la cual sea posible que las cargas recorran distancias cortas.

Para calcular la puntuación carga-distancia, *ld*, correspondiente a una localización potencial dada, se usa la distancia real entre dos puntos cualesquiera usando un sistema GIS, y simplemente se multiplican las cargas que fluyen de y hacia la instalación por las distancias recorridas. O también se puede usar la distancia rectilínea o euclidiana, según los cálculos presentados en el capítulo 8, "Distribución de los proceso", como una aproximación de la distancia, usando las coordenadas *x* y *y.* El tiempo de recorrido, el kilometraje real o las distancias rectilíneas cuando se un método de cuadrícula, son medidas apropiadas de la distancia. La fórmula de la puntuación *ld* es:

$$ld = \sum_i l_i d_i$$

Estas cargas pueden expresarse como el número de posibles clientes que necesitan presencia física de una instalación de servicio; las cargas pueden ser en toneladas o en número de viajes por semana en el caso de una instalación manufacturera. La puntuación es la suma de estos productos de carga por distancia. Al seleccionar una nueva localización basada en puntuaciones *ld,* la atención al cliente mejora o los costos de transporte se reducen.

La meta es encontrar una localización aceptable de la instalación que minimice la puntuación, donde la localización se define por sus coordenadas *x* y *y,* o por la longitud y la latitud. Por consideraciones prácticas, los gerentes rara vez pueden seleccionar la localización exacta con la puntuación más baja posible. Por ejemplo, es posible que no se pueda comprar un terreno en la zona a precio razonable, u otros factores de localización pueden hacer que el sitio sea indeseable.

Centro de gravedad Someter a prueba diferentes localizaciones con el modelo de carga-distancia es relativamente sencillo si se aplica un proceso sistemático de búsqueda. El **centro de gravedad** es un buen punto de partida para evaluar localizaciones en el área seleccionada como objetivo, usando el método de carga-distancia. El primer paso consiste en determinar las coordenadas x y y de diferentes localizaciones, ya sea como la longitud y latitud de las localizaciones, o creando una cuadrícula (x,y), como se usó en la construcción de distribuciones de flujo flexible en el capítulo 8. La coordenada x del centro de gravedad, designada como x^*, se encuentra multiplicando la coordenada x de cada punto (ya sea la longitud de la localización o la coordenada x en una cuadrícula) por su respectiva carga (l_i), sumando después estos productos ($\Sigma l_i x_i$), y dividiendo el resultado entre la suma de las cargas (Σl_i). La coordenada y del centro de gravedad (ya sea la latitud o la coordenada y en una cuadrícula), designada como y^*, se encuentra de la misma manera. Las fórmulas correspondientes son:

centro de gravedad

Un buen punto de partida para evaluar localizaciones en el área seleccionada como objetivo, usando el método de carga-distancia.

$$x^* = \frac{\sum_i l_i x_i}{\sum_i l_i} \quad \text{y} \quad y^* = \frac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i}$$

Generalmente, esta localización no es la óptima para las medidas de distancia, pero no deja de ser un excelente punto de partida. Las puntuaciones carga-distancia de las localizaciones de esta zona pueden calcularse hasta que la solución se acerque a lo óptimo.

Obtención del centro de gravedad de Health-Watch

EJEMPLO **11.3**

La nueva instalación de Health-Watch ha sido proyectada para atender a siete sectores censales en Erie, Pennsylvania. Los clientes viajarán desde los centros de los siete sectores censales hasta la nueva instalación cuando necesiten atención médica. ¿Cuál es el centro de gravedad del área objetivo para la instalación médica de Health-Watch?

SOLUCIÓN

Se usará MapPoint en esta solución, con las coordenadas representadas en la forma de latitud y longitud en lugar de una cuadrícula (x,y) para calcular el centro de gravedad. En primer término, el área objetivo se muestra en el mapa de Erie, Pennsylvania, usando MapPoint. En la figura 11.5, hay un marcador colocado en el centro geográfico aproximado de los sectores censales. En seguida, se activa el sensor de localización. Si se mueve el cursor sobre el marcador, el sensor de localización registrará la longitud y latitud del punto donde está el marcador. La población de cada sector cen-

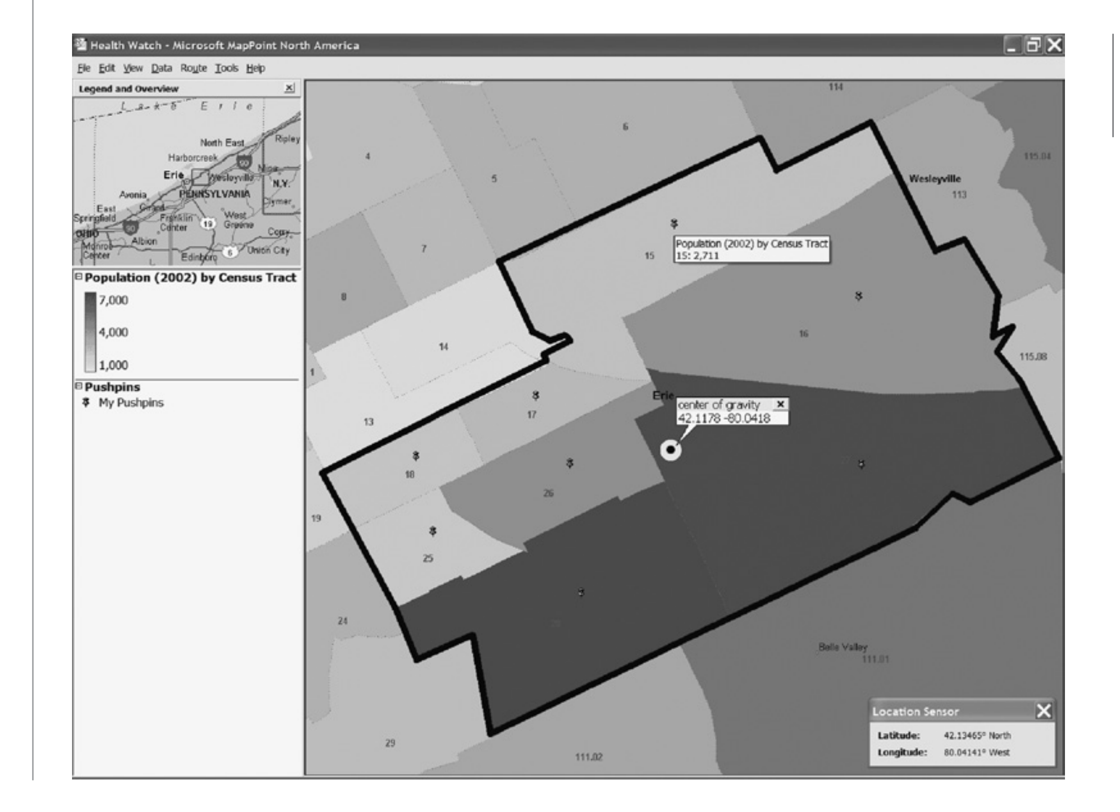
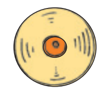


FIGURA 11.5

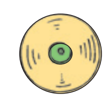
Centro de gravedad para Health-Watch

sal se agrega al mapa usando datos demográficos incorporados en MapPoint. Así, se obtiene la siguiente tabla en la cual se presentan las latitudes y longitudes de cada uno de los siete sectores censales, junto con sus poblaciones reales, en millares.



MODELO ACTIVO 11.1

El modelo activo 11.1 en el CD-ROM del estudiante explora las puntuaciones *ld* de las localizaciones en las cercanías del centro de gravedad.



TUTOR 11.2

El tutor 11.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo de cómo calcular el centro de gravedad.

Sector censal	Población	Latitud	Longitud	Población × latitud	Población × longitud
15	2,711	42.134	−80.041	114,225.27	−216,991.15
16	4,161	42.129	−80.023	175,298.77	−332,975.70
17	2,988	42.122	−80.055	125,860.54	−239,204.34
25	2,512	42.112	−80.066	105,785.34	−201,125.79
26	4,342	42.117	−80.052	182,872.01	−347,585.78
27	6,687	42.116	−80.023	281,629.69	−535,113.80
28	6,789	42.107	−80.051	285,864.42	−543,466.24
Total	**30,190**			**1,271,536.04**	**−2,416,462.80**

A continuación, se obtendrán x^* y y^* del centro de gravedad. Debido a que las coordenadas están dadas como longitud y latitud, x^* es la longitud y y^* es la latitud del centro de gravedad.

$$x^* = \frac{1{,}271{,}536.05}{30{,}190} = 42.1178$$

$$y^* = \frac{-2{,}416{,}462.81}{30{,}190} = -80.0418$$

El modelo activo 11.1 en el CD-ROM del estudiante confirma estos cálculos para obtener el centro de gravedad y permite explorar también otras alternativas de localización.

Punto de decisión El centro de gravedad es (42.12 norte, 80.04 oeste), y de acuerdo con lo que se ve en el mapa, parece estar relativamente en el centro del área objetivo. El problema resuelto 3 al final de este capítulo ilustra un ejemplo del uso de coordenadas de cuadrícula en lugar de la latitud y longitud para problemas de centro de gravedad y carga-distancia.

USO DEL ANÁLISIS DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

El análisis del punto de equilibrio ayuda a un gerente a comparar diversas alternativas de localización con base en factores cuantitativos que pueden expresarse en términos de costo total. Este análisis es particularmente útil cuando el gerente desea definir los rangos dentro de los cuales cada alternativa resulta ser la mejor. Los pasos básicos para encontrar las soluciones gráfica y algebraica son los siguientes:

1. Determine los costos variables y los costos fijos de cada sitio. Recuerde que los *costos variables* son la parte del costo total que varía en forma directamente proporcional al volumen de producción. Tenga presente que los *costos fijos* son la parte del costo total que permanece constante, sin importar cuáles sean los niveles de producción.
2. Trace en un solo gráfico las líneas de costo total (la suma de los costos variables y los costos fijos), para todos los sitios.
3. Identifique los rangos aproximados en los cuales cada una de las localizaciones tiene el costo más bajo.
4. Resuelva algebraicamente para hallar los puntos de equilibrio en los rangos pertinentes.

EJEMPLO 11.4 **Análisis del punto de equilibrio para determinar la mejor localización**

Un gerente de operaciones ha logrado reducir a sólo cuatro comunidades la búsqueda de la localización de una nueva instalación. Los costos fijos anuales (por concepto de terreno, impuestos sobre la propiedad, seguros, equipo y edificios) y los costos variables (por mano de obra, materiales, transportes y gastos generales variables) son los siguientes:

Comunidad	Costos fijos por año	Costos variables por unidad
A	$150,000	$62
B	$300,000	$38
C	$500,000	$24
D	$600,000	$30

Paso 1. Trace las curvas del costo total para todas las comunidades en un solo gráfico. Identifique en el gráfico el rango aproximado en el cual cada una de las comunidades ofrece el costo más bajo.

Paso 2. Aplicando el análisis del punto de equilibrio, calcule las cantidades de equilibrio en los rangos pertinentes. Si la demanda esperada es de 15,000 unidades al año, ¿cuál será la mejor localización?



MODELO ACTIVO 11.2

El modelo activo 11.2 en el CD-ROM del estudiante contiene ideas para definir los tres rangos pertinentes para este ejemplo.



TUTOR 11.3

El tutor 11.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar el análisis del punto de equilibrio para las decisiones sobre localización.

SOLUCIÓN

Paso 1. Para trazar la línea del costo total de una comunidad, se calcula primero el costo total de dos niveles de producción: $Q = 0$ y $Q = 20{,}000$ unidades por año. Para el nivel $Q = 0$, el costo total equivale simplemente a los costos fijos. Para el nivel $Q = 20{,}000$, el costo total (costos fijos más costos variables) es el siguiente:

Comunidad	Costos fijos	Costos variables (costo por unidad)(número de unidades)	Costo total (fijos + variables)
A	$150,000	$62(20,000) = $1,240,000	$1,390,000
B	$300,000	$38(20,000) = $ 760,000	$1,060,000
C	$500,000	$24(20,000) = $ 480,000	$ 980,000
D	$600,000	$30(20,000) = $ 600,000	$1,200,000

La figura 11.6 muestra el gráfico de las líneas de costo total. La línea correspondiente a la comunidad A va desde (0, 150) hasta (20, 1,390). El gráfico indica que la comunidad A resulta mejor para volúmenes bajos, la B para volúmenes intermedios y la C para volúmenes altos. Ya no se debe considerar la comunidad D, porque sus costos fijos *y también* sus costos variables son más altos que los de la comunidad C.

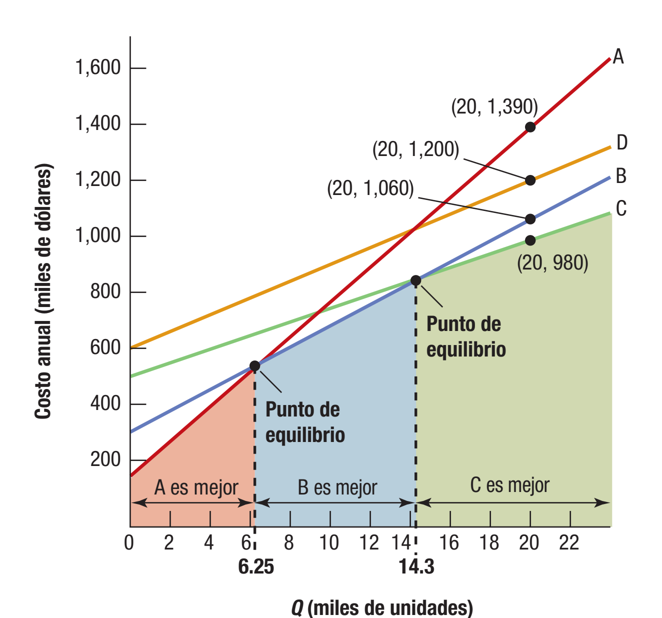


FIGURA 11.6

Análisis del punto de equilibrio de cuatro posibles localizaciones

Paso 2. La cantidad de equilibrio entre A y B se encuentra al final del primer rango, donde A es mejor, y al principio del segundo rango, donde B es mejor. Se obtiene igualando entre sí sus ecuaciones de costo total y resolviendo:

$$\begin{aligned} &\text{(A)} \qquad\qquad \text{(B)} \\ \$150{,}000 + \$62Q &= \$300{,}000 + \$38Q \\ Q &= 6{,}250 \text{ unidades} \end{aligned}$$

La cantidad de equilibrio entre B y C está al final del rango en el cual B es mejor y al principio del último rango, donde C es mejor. Su valor es de:

$$\begin{aligned} &\text{(B)} \qquad\qquad \text{(C)} \\ \$300{,}000 + \$38Q &= \$500{,}000 + \$24Q \\ Q &= 14{,}286 \text{ unidades} \end{aligned}$$

No se requiere ninguna otra cantidad de equilibrio. El punto de equilibrio entre A y C se encuentra arriba del área sombreada, que no marca ni el principio ni el final de ninguno de los tres rangos pertinentes.

Punto de decisión La gerencia localizó la nueva instalación en la comunidad C, porque el pronóstico de la demanda de 15,000 unidades por año se ubica en el rango de alto volumen.

LOCALIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DENTRO DE UNA RED DE INSTALACIONES

Cuando una empresa que ya cuenta con una red de instalaciones existentes planea una instalación nueva, se encuentra frente a una de estas dos situaciones: o bien las instalaciones funcionan independientemente unas de otras (por ejemplo, una cadena de restaurantes, clínicas de salud, bancos o establecimientos minoristas) o las instalaciones interactúan (por ejemplo, plantas manufactureras de componentes, plantas de ensamblaje y almacenes). Las unidades que operan en forma independiente pueden localizarse considerando a cada una de ellas como una instalación por separado, como se describió en la sección precedente. La localización de las instalaciones que interactúan presenta nuevos problemas, como la manera en que deberá asignarse el trabajo entre dichas instalaciones y cómo determinar la mejor capacidad para cada una. A su vez, cambiar las asignaciones de trabajo afecta el tamaño (o la utilización de la capacidad) de las distintas instalaciones. Así, el problema de la localización de instalaciones múltiples tiene tres dimensiones: localización asignación y capacidad, las cuales deben ser resueltas simultáneamente. En muchos casos, el analista puede identificar una solución viable con sólo buscar patrones en los datos de costo, demanda y capacidad, y mediante cálculos por tanteo (prueba y error). En otros casos se requieren métodos más formales.

EL MÉTODO GIS PARA LOCALIZAR MÚLTIPLES INSTALACIONES

El uso de las herramientas GIS a menudo simplifica la búsqueda de la solución. Visualizar las localizaciones y datos de los clientes, así como la estructura de transporte de caminos y autopistas interestatales permite al analista arribar con rapidez a una solución razonable de los problemas de localización de múltiples instalaciones. La puntuación carga-distancia y los datos del centro de gravedad pueden combinarse con bases de datos en Excel para obtener localizaciones de prueba para las instalaciones, las cuales pueden evaluarse después con respecto al tiempo de conducción anual o distancia, usando un GIS como MapPoint y una macro de Visual Basic en Excel. A continuación, se resume un marco de cinco pasos que engloba el uso del GIS para localizar múltiples instalaciones.

1. Trace en un mapa los datos de los clientes e instalaciones existentes en el GIS.
2. Divida visualmente toda el área de operación en la cantidad de partes o subregiones que equivalgan al número de instalaciones que se van a localizar.
3. Localice una instalación en cada región con base en la densidad visual de la concentración de clientes u otros factores. O si no, determine el centro de gravedad de cada parte o subregión identificada en el paso 2 como punto de partida de localización para la instalación en esa subregión.

4. Busque otros sitios alrededor del centro de gravedad para elegir una localización factible que satisfaga los criterios de la gerencia de la empresa, como la proximidad a áreas metropolitanas o autopistas importantes.
5. Calcule las puntuaciones totales de carga-distancia y realice verificaciones de la capacidad antes de finalizar las localizaciones en cada región.

Un método así puede tener muchas aplicaciones, entre otras, el diseño de redes de distribución de la cadena de suministro, como se ilustra en el ejemplo 11.5 y el video acompañante en el CD-ROM del estudiante.

Localización de múltiples instalaciones de Witherspoon Automotive — EJEMPLO 11.5

Witherspoon Automotive, un refabricante de componentes y subunidades automotrices, entrega partes a sus clientes en camiones llenos, que regresan con una carga de autopartes para desarmarlas y refabricarlas. En la actualidad, la compañía opera con dos instalaciones en la región sureste de Estados Unidos: Spartanburg, Carolina del Sur, y Orlando, Florida. Cada una de estas localizaciones tiene una planta de refabricación, junto con un almacén anexo que sirve como centro de distribución (CD). La instalación de Spartanburg atiende a un total de 362 clientes en Georgia, Carolina del Norte y del Sur y partes de Alabama, Tennessee y Virginia. La instalación de Orlando atiende a un total de 66 clientes, sobre todo en Florida y una pequeña parte de Alabama y Georgia. El CD de Spartanburg y el Orlando enviaron 17,219 y 4,620 camiones con cargas completas de partes, respectivamente, a sus clientes el año pasado. Las regiones de operación y las localizaciones específicas de los clientes (en la forma de marcadores) que cubren ambas instalaciones se muestran en la figura 11.7.

La alta dirección de Witherspoon Automotive decidió cerrar la planta de Spartanburg debido a su antigüedad y obsolescia y, en cambio, dividió la región de Spartanburg en dos nuevas regiones, cada una con su propio centro de manufactura y distribución. Además, los siguientes cinco factores importantes de localización afectan su decisión final:

1. Para promover una mejor calidad de vida para sus trabajadores, las nuevas instalaciones deberán localizarse en un área metropolitana grande.
2. Los costos de distribución son uno de los determinantes más importes de las utilidades y, por tanto, la puntuación total carga-distancia debe minimizarse para reducir al mínimo los costos de distribución.

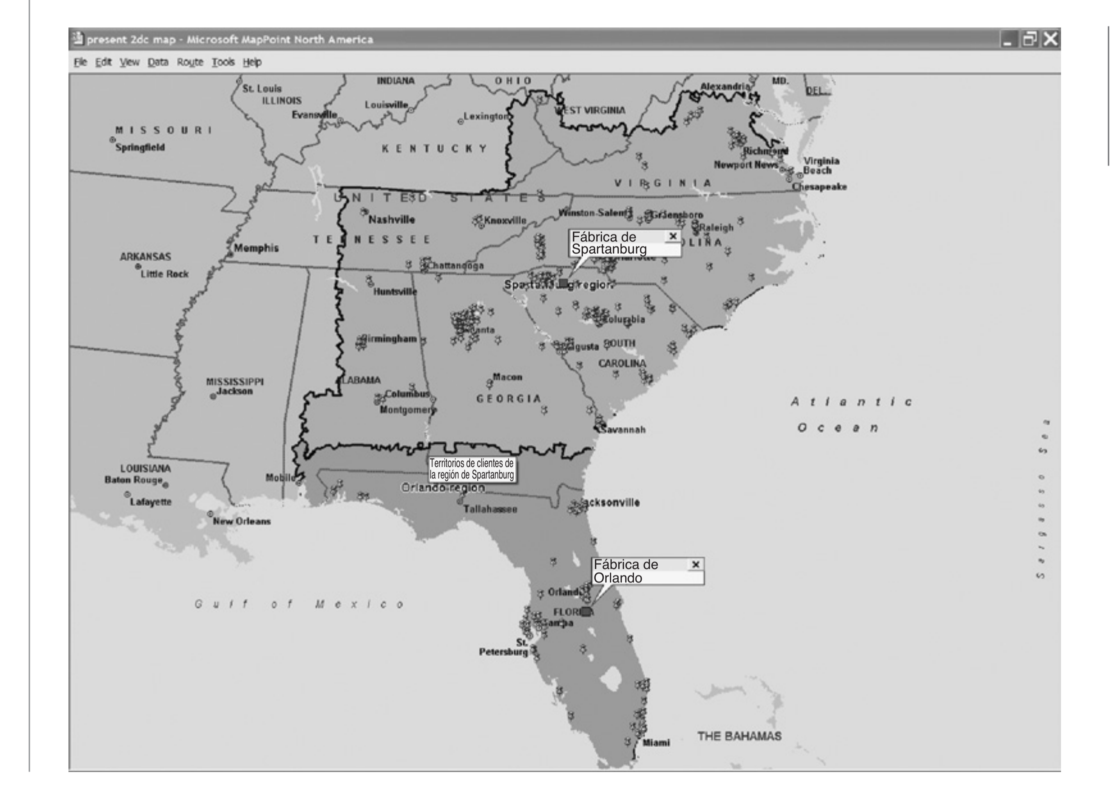


FIGURA 11.7

Regiones de operación y localización de clientes de Witherspoon Automotive

3. Debido a las deseconomías de escala que anteriormente se experimentaron con la planta de Spartanburg, el tamaño de las dos nuevas instalaciones no debe exceder de un máximo de 9,500 camiones llenos de producción al año.
4. Las cargas completas enviadas a los clientes que se distribuirán entre las dos instalaciones deben estar más o menos balanceadas, en virtud de los datos de la demanda del año anterior.
5. Marketing indicó que piensan desarrollar el mercado del norte de Alabama. En consecuencia, la nueva red de distribución debe ser capaz de dar cabida a otros 1,000 embarques adicionales en camiones llenos al año para atender el mercado de Alabama.

¿Dónde deben establecerse las dos nuevas instalaciones, suponiendo que el CD de Orlando se quede donde está y que las diferencias en los costos fijos de abrir una nueva instalación sean comparables entre la mayoría de los posibles sitios en la región?

SOLUCIÓN

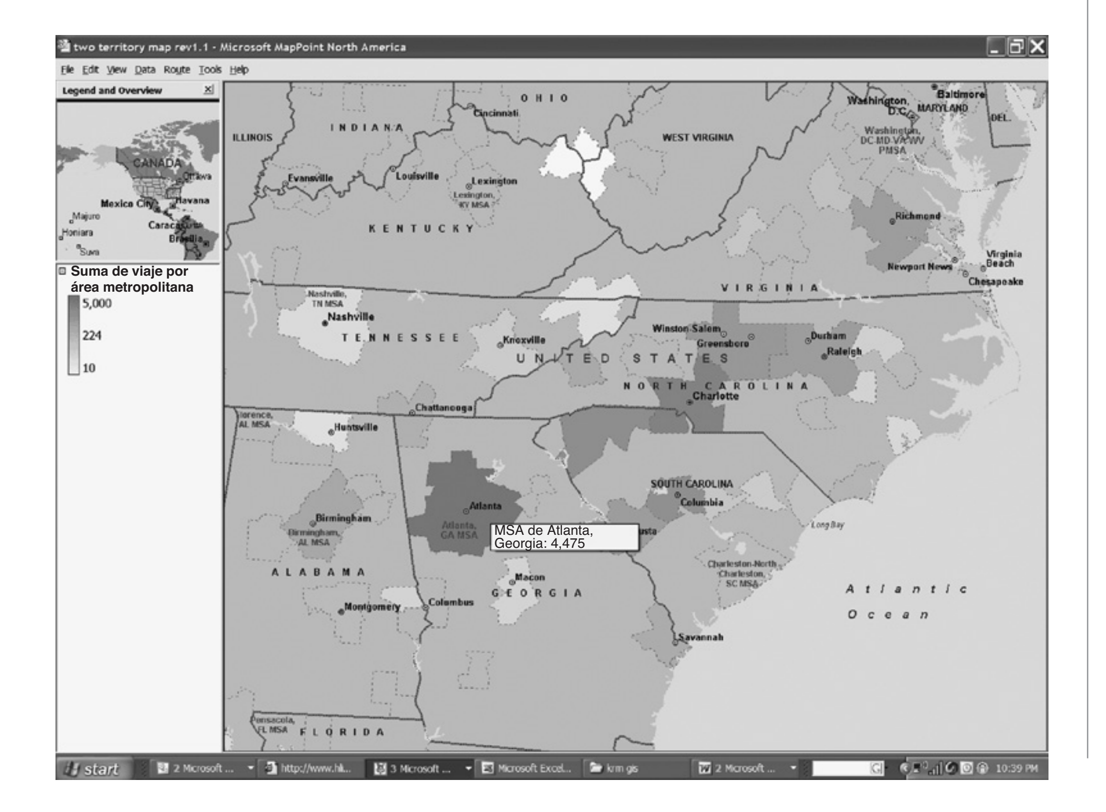


El video de Witherspoon Automotive en el CD-ROM del estudiante muestra cómo localizar múltiples instalaciones usando MapPoint 2004.

Usando los datos de su sistema y MapPoint, los gerentes de Witherspoon Automotive superpusieron las localizaciones y el número de embarques en camiones llenos que se entregaron el año pasado a cada cliente en la región de Spartanburg en un mapa. Un video en el CD-ROM para el estudiante muestra cómo realizar este análisis con MapPoint. El mapa se codificó de manera arbitraria para que los clientes que recibieron entre 52 y 80 embarques el año pasado aparecieran en azul o blanco, mientras que los clientes que recibieron entre 10 y 37 embarques se codificaron en negro o rojo. Para lograr un mayor grado de agregación en la base de clientes y dar también la debida consideración al factor de localización relativo a la calidad de vida, el mapa se cambió para que en lugar de mostrar datos de cada domicilio (de los clientes) mostrara una vista agregada que presenta datos de cada área metropolitana estadística (MSA, del inglés *metropolitan statistical area*). (Es muy fácil cambiar la representación de los datos en el mapa en MapPoint). Cuando más oscuro sea el matiz, tanto mayor será el número de camiones llenos de carga en la MSA. En términos visuales, se hizo evidente que Atlanta y Charlotte eran los principales mercados, y también había grandes concentraciones de clientes en Columbia, Carolina del Sur; Greenville, Carolina del Sur; y Richmond, Virginia. Por el mapa que se presenta en la figura 11.8, es fácil darse cuenta de que el área sombreada de gris oscuro en Atlanta tiene una fuerte concentración de clientes y viajes. Representa 4,475 camiones llenos de carga, que fácilmente sostendrían a media instalación. Debido a que uno de los principales objetivos es minimizar la puntuación total carga-distancia, parece razonable que la gerencia localice una de las dos nuevas instalaciones cerca de Atlanta. Esta decisión también cumplirá los otros dos objetivos de la gerencia, en el sentido de que la instalación se encuentra cerca de un área metropolitana grande y está bien ubicada para atender la expansión propuesta al mercado del norte de Alabama. La gerencia declaró que si decide localizar la instalación cerca del área del Atlanta, lo hará en Buford, Georgia.

FIGURA 11.8

Concentración de camiones llenos de carga para Witherspoon



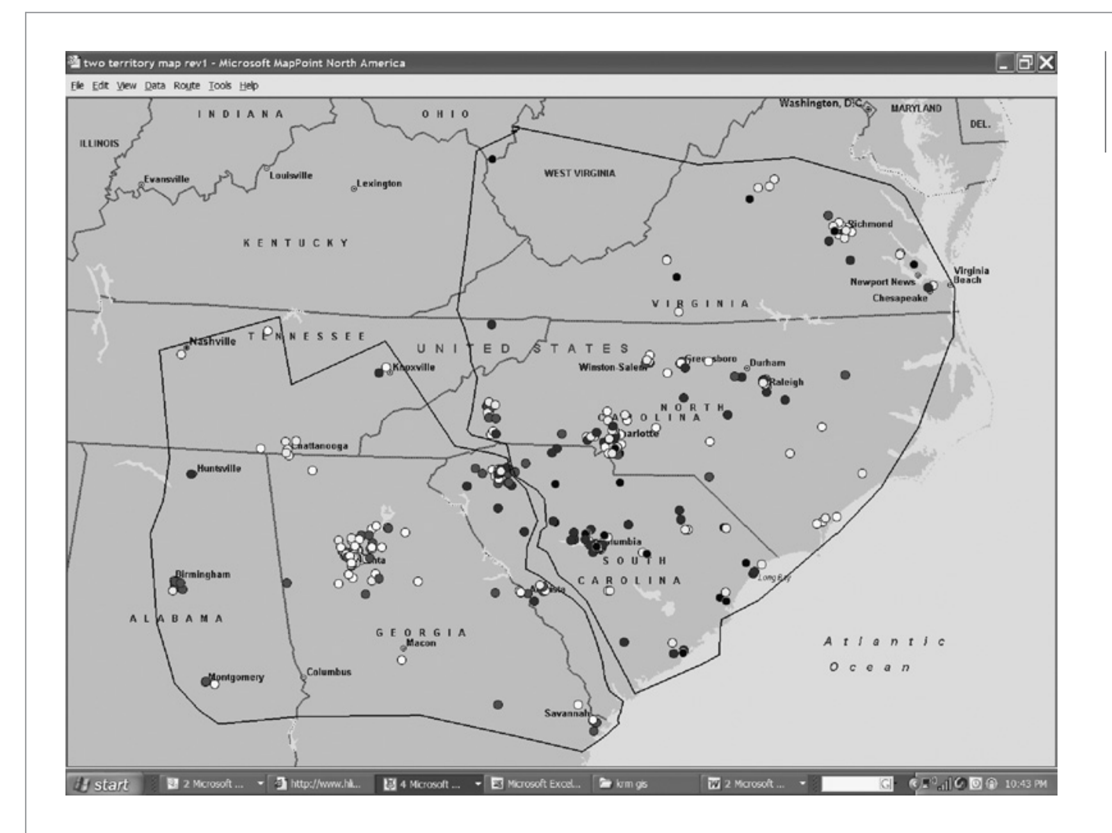


FIGURA 11.9

Áreas de las instalaciones de Witherspoon

El siguiente paso fue dividir a los clientes en dos regiones, cada una con una demanda total de menos de 9,500 camiones llenos de carga. Debido a que parecía evidente que el área de Atlanta tendría una instalación, se delimitó una región alrededor de Atlanta, como se muestra en la figura 11.9. Además, si el mercado del norte de Alabama se desarrolla como se espera, se manejarían otras 1,000 cargas completas enviadas por camión. En virtud de este potencial, la región de Atlanta sólo puede manejar 8,500 camiones llenos para los clientes actuales. Después de estudiar detenidamente los datos del mapa, se decidió asignar a la región de Atlanta a Georgia, Tennessee, Alabama y las partes de Carolina del Sur que se encuentran a menos de 2.5 horas de la instalación de Atlanta. La MSA de Augusta/Aiken que se encuentra situada en la frontera entre Georgia y Carolina del Sur también se añadió a esta región para balancear las dos regiones. Este escenario da el siguiente resultado: a la región de Atlanta se le asignarán 8,397 camiones llenos de carga, y en la segunda región se realizarán 8,822 viajes, y se logrará una repartición de 48.8% y 51.2%, además de prever capacidad en la región de Atlanta para la expansión propuesta al mercado del norte de Alabama.

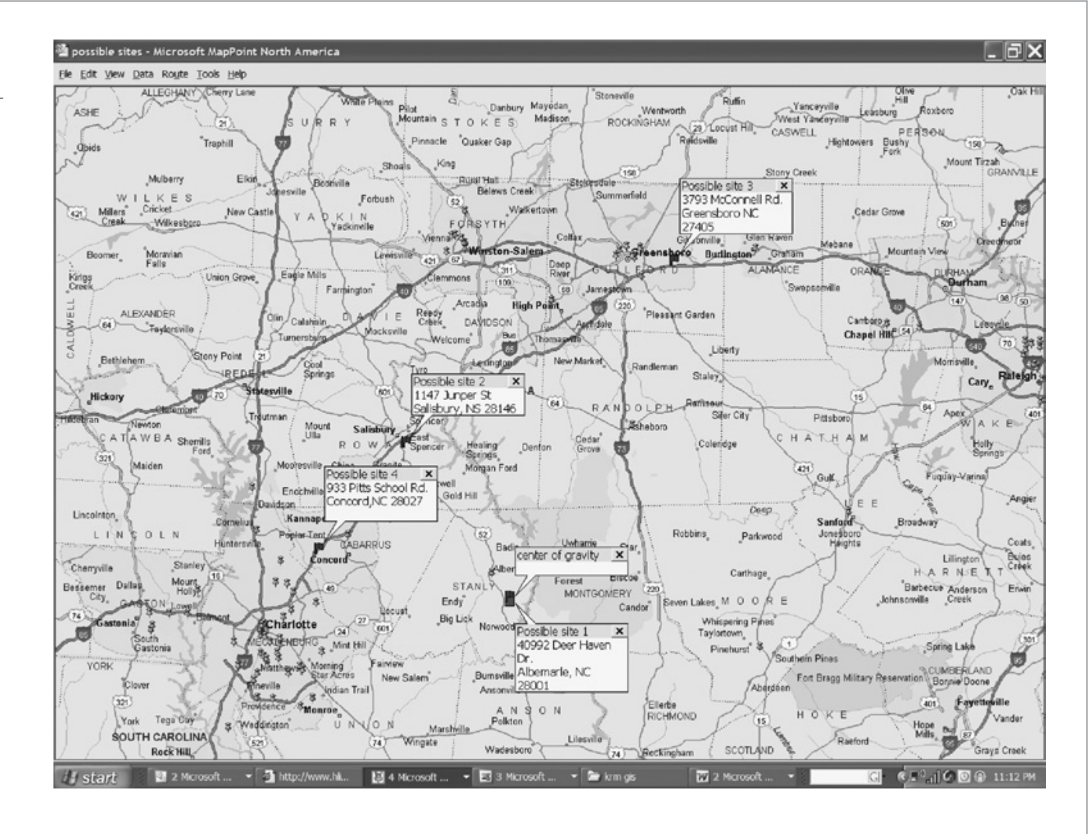
Para identificar una buena localización para la segunda instalación, se determinó el centro de gravedad de la segunda región para hallar un buen punto de partida. Para realizar este cálculo, los gerentes de Witherspoon Automotive seleccionaron los límites propuestos para la segunda región e importaron los datos de los clientes a Excel. En seguida, la gerencia usó una macro de Visual Basic for Applications (VBA) que obtenía acceso a los datos en MapPoint para determinar el centro de gravedad. Se incluye un archivo de OM Explorer Solver, titulado "Center of Gravity Using MS MapPoint 2004-Example 11.5" para ejecutar esta función.

Viendo el mapa de la figura 11.9, parece ser que el centro de la segunda región está situado alrededor de Durham, Carolina del Norte. Sin embargo, el centro de gravedad se localiza considerablemente al sur y al oeste de Durham. El centro de gravedad de la segunda región está cerca de un bosque nacional en el condado de Randolph, Carolina del Norte, no muy lejos de Charlotte (figura 11.10). Este resultado era de esperar porque el mercado de Charlotte y en menor grado el de Columbia, Carolina del Sur, tienen un porcentaje muy grande del volumen de camiones llenos de carga en esta región. No obstante, el centro de gravedad no parece ser un sitio prometedor porque se encuentra cerca de sólo un cliente (véase la localización del centro de gravedad en el mapa de la figura 11.10).

Dado este dilema, la gerencia de Witherspoon Automotive decidió elegir un sitio próximo al centro de gravedad, así como varios sitios en el área general del centro de gravedad que están cerca de la carretera interestatal I-85 (porque casi cada viaje requeriría que el conductor del camión fuera primero a o cerca de la carretera interestatal I-85.) Las puntuaciones de carga-distancia se calcularon usando el millaje recorrido y el tiempo de conducción con base en la demanda del año pasado para cada una de las posibles localizaciones. Este cálculo se realizó usando una macro de VBA en Excel, la cual está disponible en el CD-ROM del estudiante, como un archivo de OM Explorer Solver, titulado "Multiple Facilities Location-Driving Time and Distance Calculator Using MS MapPoint 2004-Example 11.5". Los sistemas GIS más complejos y avanzados tienen esta capacidad y también se venden complementos de MapPoint a precios muy ase-

FIGURA 11.10

Sitios posibles para establecer la segunda instalación de Witherspoon



quibles, que pueden realizar este cálculo. Los siguientes resultados se obtuvieron de los cálculos de carga-distancia basados en viajes sencillos.

Sitio	Ciudad	Carga-distancia usando millaje, viaje sencillo	Carga-distancia usando horas de recorrido, viaje sencillo
1	Albemarle	1,331,608	22,194
2	Salisbury	1,075,839	18,541
3	Greensboro	1,222,675	20,378
4	Concord	1,037,424	17,938

Cuando los gerentes de Witherspoon Automotive estaban revisando los resultados, observaron que las localizaciones en Concord y Salisbury ofrecerían el millaje y tiempo de conducción mínimo. El sitio de Albemarle, que se encuentra cerca del centro de gravedad, es el peor de las cuatro posibilidades. Concord tiene la ventaja adicional de hallarse cerca de Charlotte, lo que cumple el objetivo de la gerencia de estar situado cerca de una ciudad grande. Si la compañía localizara la instalación de la región de Atlanta en Buford, Georgia, y la instalación de la región de Charlotte en Concord, Carolina del Norte, podría reducir las millas recorridas en viajes sencillos en 1,770,461 millas y disminuir el tiempo de recorrido en los viajes sencillos en 28,473 horas con respecto a la distribución actual con la instalación localizada en Spartanburg, Carolina del Sur.

Otra característica atractiva de esta solución es que los mercados de Greenville, Carolina del Sur, y Augusta, Georgia, están casi tan cerca de la instalación de Concord como de la instalación de Buford. La gerencia puede reasignar clientes de estos mercados a la región de Charlotte por un costo adicional muy reducido si el mercado del norte de Alabama crece más rápido de lo esperado.

Punto de decisión La gerencia de Witherspoon Automotive decidió localizar la primera instalación en Buford, y la segunda en Concord, en el corredor de la carretera interestatal I-85. Estas localizaciones se encuentran dentro de las MSA de Atlanta y Charlotte, respectivamente, y reflejan los deseos de la gerencia de situarse cerca de un área metropolitana grande. La creación de dos centros de distribución en lo que hoy es la región de Spartanburg reducirá el millaje total de Witherspoon Automotive en más de 3.5 millones de millas, y disminuirá el tiempo anual de conducción en casi 57,000 horas. Estos ahorros de logística son considerables, y satisfacen todos los criterios de localización que se habían especificado al principio del proceso de toma de decisión.

EL MÉTODO DE TRANSPORTE

El **método de transporte** es un enfoque cuantitativo que ayuda a resolver problemas de localización de múltiples instalaciones. En este caso se usará para determinar la pauta de asignación que minimiza el costo de embarcar productos desde dos o más plantas, o *fuentes de suministro*, hasta dos o más almacenes, o *destinos*.[1] La atención se centrará en el planteamiento y la interpretación del problema, dejando el resto del proceso de solución a cargo de un paquete de software en una computadora. El método de transporte está basado en la programación lineal. Encontrará otros algoritmos más eficaces para la resolución de este tipo de problemas en los libros de texto que explican los métodos cuantitativos y tratan de la ciencia de la administración.

método de transporte

Un enfoque cuantitativo que ayuda a resolver problemas de localización de múltiples instalaciones.

El método de transporte no resuelve *todas* las facetas del problema de localización de múltiples instalaciones, sino que sólo identifica *el mejor* patrón de embarques entre las plantas y los almacenes para un conjunto determinado de localizaciones de plantas, cada una de las cuales con una capacidad determinada. El analista debe ensayar diversas combinaciones de localización y capacidad, y aplicar el método de transporte para encontrar la distribución óptima que corresponde a cada una. Los costos de distribución (costos variables de embarque y posiblemente costos variables de producción) no son más que uno de los elementos importantes en la evaluación de una determinada combinación de localización y asignación. Los costos de inversión y otros costos fijos también tienen que tomarse en consideración, junto con diversos factores cualitativos. Este análisis completo deberá realizarse para cada una de las combinaciones de localización y capacidad que parezcan razonables. En vista de la importancia de tomar una buena decisión, este esfuerzo adicional compensa plenamente el costo.

Establecimiento del tableau inicial El primer paso en la resolución de un problema de transporte consiste en representarlo por medio de una matriz ordinaria, que a veces se denomina *tableau*. Los pasos fundamentales para establecer un tableau inicial son los siguientes:

1. Crear una fila que corresponda a cada planta (ya existente o nueva) que se está considerando y crear una columna para cada almacén.
2. Agregar una columna para las capacidades de las plantas y una fila para las demandas de los almacenes, e insertar después sus valores numéricos específicos.
3. Cada celda que no se encuentre en la fila de requerimientos ni en la columna de capacidad representa una ruta de embarque desde una planta hasta un almacén. Inserte los costos unitarios en la esquina superior derecha de cada una de esas celdas.

Sunbelt Pool Company está estudiando la posibilidad de construir una nueva planta con capacidad de 500 unidades ahora que sus negocios están en auge. Una posible localización es Atlanta. La figura 11.11 muestra un tableau, que indica la capacidad de la planta, sus requerimientos de almacén y sus costos de embarque. Por ejemplo, el tableau muestra que el costo de transportar una unidad desde la planta existente en Phoenix hasta el almacén 1 en San Antonio, Texas, es de $5.00. Se supone que los costos aumentan linealmente con el tamaño del embarque; es decir, el costo *por unidad* es el mismo, independientemente de la magnitud del embarque total.

En el método de transporte, la suma de los embarques que aparecen en una fila debe ser igual a la capacidad de la planta correspondiente. Por ejemplo, en la figura 11.11, el total de los embarques enviados desde la planta de Atlanta hasta los almacenes 1, 2 y 3 situados en San Antonio, Texas, Hot Springs, Arkansas y Sioux Falls, Dakota del Sur, respectivamente, debe ser de 500. En forma similar, la suma de los embarques a una columna dada debe ser igual a los requerimientos de demanda del almacén correspondiente. Así, los embarques remitidos al almacén 1 en San Antonio, Texas, desde Phoenix y Atlanta deberán totalizar 200 unidades.

Plantas o almacenes ficticios El método de transporte también requiere que la suma de las capacidades sea igual a la suma de las demandas, lo cual se cumple con 900 unidades (figura 11.11). En muchos problemas reales, la capacidad total puede ser mayor que los requerimientos, o vice-

FIGURA 11.11

Tableau inicial

Planta	Almacén			Capacidad
	San Antonio, TX (1)	Hot Springs, AR (2)	Sioux Falls, SD (3)	
Phoenix	5.00	6.00	5.40	400
Atlanta	7.00	4.60	6.60	500
Requerimientos	200	400	300	900 / 900

[1]También se puede usar para determinar un plan óptimo de ventas y operaciones (véase el capítulo 14, “Planificación de ventas y operaciones”), o una asignación óptima de cuentas de servicio entre diferentes centros de servicio.

versa. Si la capacidad rebasa los requerimientos por *r* unidades, se agrega una columna (un *almacén ficticio*) con una demanda de *r* unidades y se establece que los costos de embarque en las nuevas celdas creadas de esta manera sea igual a $0. Esos embarques no se realizan en realidad, por lo que representan capacidad de planta no utilizada. Asimismo, si los requerimientos rebasan la capacidad por *r* unidades, se agrega una fila más (una *planta ficticia*) con capacidad de *r* unidades. Se asignan costos de embarque iguales a los costos de desabasto de las nuevas celdas. Si se desconocen los costos de desabasto o su valor es el mismo para todos los almacenes, simplemente se asignan costos de embarque de $0 por unidad a cada celda de la fila ficticia. La solución óptima no resultará afectada porque el mismo faltante de *r* unidades se requiere en todos los casos. La adición de una planta ficticia o un almacén ficticio garantiza que la suma de todas las capacidades será igual a la suma de todas las demandas. Algunos paquetes de software los añaden automáticamente cuando el usuario introduce los datos.

Cómo encontrar una solución Una vez que el tableau inicial ha quedado establecido, la meta es encontrar el patrón de asignación de menor costo que satisfaga todas las demandas y agote todas las capacidades. Tal patrón se encuentra aplicando el método de transporte, el cual garantiza que se hallará la solución óptima. El tableau inicial se rellena con una solución factible que satisfaga las demandas de todos los almacenes y agote las capacidades de todas las plantas. A continuación, se crea un nuevo tableau, definiendo una nueva solución que tenga un costo total más bajo. Este proceso iterativo deberá continuar hasta que ya no sea posible mejorar la solución precedente, lo cual indicará que se ha encontrado la solución óptima. Si se utiliza un paquete de software, lo único que se tiene que hacer es introducir la información correspondiente al tableau inicial.

Otro procedimiento es el método símplex (véase el suplemento E, "Programación lineal"), pero requiere más datos de entrada. El problema de transporte es en realidad un caso especial de programación lineal, que puede representarse en un modelo con una variable de decisión para cada celda del tableau, una restricción para cada fila del tableau (con el requisito de utilizar plenamente la capacidad de cada planta) y una restricción para cada columna del tableau (con el requisito de satisfacer la demanda de cada almacén).

Cualquiera que sea el método utilizado, el número de embarques no iguales a cero en la solución óptima nunca será mayor que la suma del número de plantas y almacenes menos 1. Sunbelt Pool Company tiene 2 plantas y 3 almacenes, por lo cual, no es necesario que haya más de cuatro embarques (o sea, 3 + 2 – 1) en la solución óptima.

EJEMPLO 11.6 Interpretación de la solución óptima

La solución óptima de Sunbelt Pool Company se muestra en la figura 11.12. También puede usarse el tutor 11.4 para resolver este tipo de problemas, y está configurado para manejar hasta tres orígenes y cuatro destinos (para problemas más grandes, use el *Solver* del método de transporte). Con sólo dos orígenes, o fuentes de suministro, se establece una tercera fila con uno "ficticio" con una capacidad de 0, y un cuarto almacén "ficticio" con una demanda de 0. Los números en negritas indican los embarques óptimos. Confirme que la capacidad de cada planta se haya agotado y que la demanda de todos los almacenes se haya satisfecho. Verifique también que el costo total de transporte correspondiente a la solución sea de $4,580.

FIGURA 11.12

Tableau óptimo para Sunbelt Pool Company

Orígenes	Destinos				Capacidad
	San Antonio, TX	Hot Springs, AR	Sioux Falls, SD	Ficticio	
Phoenix	5.00 **200**	6.00	5.40 **200**	0.00	400
Atlanta	7.00	4.60 **400**	6.60 **100**	0.00	500
Ficticio	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Requerimientos	200	400	300	0.00	900 900
Costos	**$1,000**	**$1,840**	**$1,740**	**$0**	
Costo total					**$4,580**

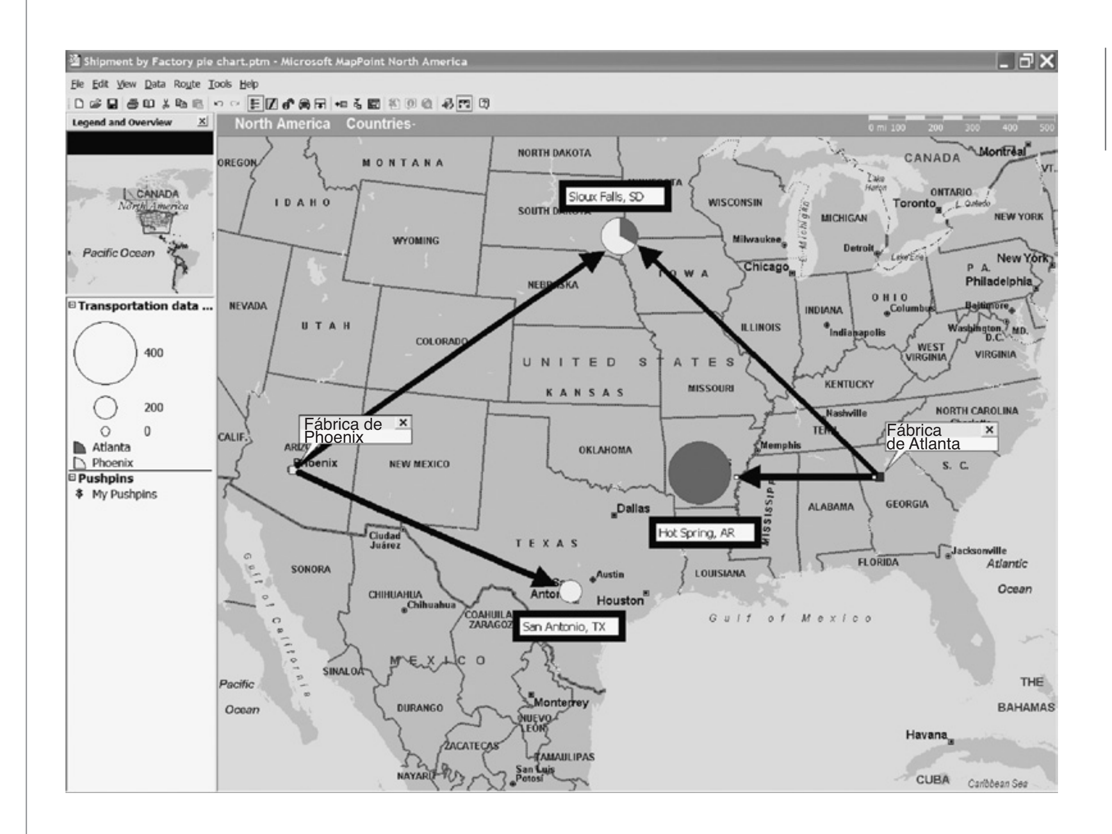


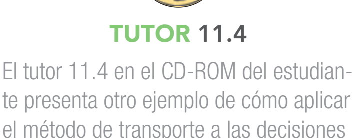
FIGURA 11.13

Solución óptima de transporte para Sunbelt Pool Company

SOLUCIÓN

La red de plantas existentes y cómo abastecen a los tres almacenes se muestra en el mapa de la figura 11.13, en el cual la planta de Phoenix y sus embarques están representados en la parte clara de los círculos y la planta de Atlanta y sus embarques están representados en la parte oscura de los círculos. El tamaño de los círculos de los tres almacenes representa sus capacidades y cuánto de esa capacidad se abastece desde qué planta. Phoenix embarca 200 unidades al almacén 1 en San Antonio, Texas, y 200 unidades al almacén 3 en Sioux Falls, Dakota del Sur, agotando su capacidad de 400 unidades. Atlanta embarca 400 unidades de su capacidad de 500 unidades al almacén 2 en Hot Springs, Arkansas, y las 100 unidades restantes al almacén 3 en Sioux Falls, Dakota del Sur. Toda la demanda de los almacenes se satisface: el almacén 1 en San Antonio, Texas, es plenamente abastecido por Phoenix y el almacén 2 en Hot Springs, por Atlanta. El almacén 3 en Sioux Falls, Dakota del Sur, recibe 200 unidades de Phoenix y 100 unidades de Atlanta, satisfaciéndose así su demanda de 300 unidades. El costo total de transporte es de 200($5.00) + 200($5.40) + 400($4.60) + 100($6.60) = $4,580.

Punto de decisión La gerencia debe evaluar otras localizaciones de las plantas antes de decidir cuál es la mejor. La solución óptima no necesariamente significa que la mejor opción sea abrir una planta en Atlanta. Sólo quiere decir que el mejor patrón de asignación para las opciones actuales con respecto a las otras dos dimensiones de este problema de localización de múltiples instalaciones (esto es, una capacidad de 400 unidades en Phoenix y la localización de la nueva planta en Atlanta) da como resultado costos totales de transporte de $4,580.



TUTOR 11.4

El tutor 11.4 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo de cómo aplicar el método de transporte a las decisiones sobre localización.

El proceso de solución más amplio También es necesario considerar otros costos y varios factores cualitativos como elementos adicionales de una evaluación completa. Por ejemplo, las utilidades anuales generadas por la expansión deben sopesarse con los costos de terreno y construcción de una nueva planta en Atlanta. Así, la gerencia podría usar el método de matriz de preferencias (ejemplo 11.1) para tomar en cuenta todo el conjunto de factores de localización.

El analista también tiene que evaluar otras combinaciones de capacidad y localización. Una posibilidad consistiría, por ejemplo, en expandir la planta actual de Phoenix y construir otra planta más pequeña en Atlanta. También se podría optar por construir una nueva planta en otra localización, o se podrían construir varias plantas nuevas. El analista debe realizar un nuevo análisis para cada probable estrategia de localización.

OTROS MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LOCALIZACIÓN

Muchos problemas que requieren análisis de localización son todavía más complejos que los descritos hasta aquí. Considere la complejidad que enfrenta un fabricante, de dimensiones medianas, cuando distribuye productos a través de almacenes, o *centros de distribución*, a diversos centros de demanda. El problema consiste en determinar el número, tamaño, patrón de asignación y localización de los almacenes. Es factible que haya miles de centros de demanda, cientos de posibles localizaciones para los almacenes, varias plantas y múltiples líneas de productos. Las tarifas de transporte dependen de la dirección del embarque, el producto, la cantidad, los descuentos en las tarifas y la zona geográfica.

Frente a tal grado de complejidad, es necesario usar una computadora para realizar una evaluación completa. Para este propósito se han desarrollado tres tipos básicos de modelos de computadora: (1) heurísticos; (2) de simulación, y (3) de optimización.

heurística

Lineamientos de solución, o reglas empíricas, que permiten encontrar soluciones factibles (aunque no necesariamente óptimas) para los problemas.

Heurísticos Los lineamientos de solución, o reglas empíricas, que permiten encontrar soluciones factibles (aunque no necesariamente óptimas) para los problemas, se conocen como **heurística**. Entre sus ventajas figuran la eficiencia y la capacidad de manejar los aspectos generales de un problema. El procedimiento de búsqueda sistemática, utilizando el centro de gravedad de un área objetivo, tal como se describió anteriormente para resolver problemas de localización de una sola instalación, es un procedimiento heurístico típico. Uno de los primeros procedimientos heurísticos empleados en la resolución de problemas de localización con computadora fue propuesto hace cuatro décadas para manejar varios cientos de posibles sitios de almacenes y varios miles de centros de demanda (Kuehn y Hamburger, 1963). En la actualidad, se dispone de muchos otros modelos heurísticos para analizar gran variedad de situaciones.

simulación

Técnica de modelado que reproduce el comportamiento de un sistema.

Simulación Se conoce como **simulación** una técnica de modelado que reproduce el comportamiento de un sistema. La simulación permite manipular ciertas variables y muestra los efectos de esas manipulaciones sobre medidas de operación selectas. Los modelos de simulación permiten al analista evaluar diferentes alternativas de localización por medio de prueba y error. Depende del analista proponer las alternativas más razonables. Un modelo de simulación maneja visiones más realistas de un problema y hace que el analista participe en el proceso mismo de solución. Para cada intento, el analista indica qué instalaciones se van a abrir y, por lo general, el simulador toma las decisiones sobre asignación, basándose en las suposiciones razonables incluidas al escribir el programa de computación.

La Ralston-Purina Company utilizó la simulación como ayuda para determinar la localización de los almacenes que habrían de atender a 137 centros de demanda, cinco almacenes de campo y cuatro plantas. Se simuló la demanda aleatoria en cada centro de demanda, por tipo de producto, durante cierto periodo. El almacén más cercano que tuviera inventario disponible satisfacía la demanda. Los datos se generaron simulando diversos niveles de inventario, costos de transporte, costos de operación de almacén y pedidos pendientes. Ralston-Purina puso en práctica el resultado de la simulación, la cual demostró que la alternativa de menor costo consistía en consolidar los cinco almacenes de campo en tres únicamente.

optimización

Procedimiento empleado para determinar la "mejor" solución; generalmente utiliza visiones simplificadas y menos realistas de un problema.

Optimización El método de transporte fue uno de los primeros procedimientos de optimización ideados para resolver una parte (el patrón de asignación) de los problemas de localización de múltiples instalaciones. A diferencia del método heurístico y el de simulación, la **optimización** implica procedimientos para encontrar la *mejor* solución. Aun cuando este enfoque podría parecer preferible, tiene una limitación: los procedimientos de optimización utilizan generalmente visiones simplificadas y menos realistas de los problemas. Sin embargo, los beneficios pueden ser sustanciales.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET EN (INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> ECUACIONES CLAVE <

1. Puntuación carga-distancia: $ld = \sum_i l_i d_i$

2. Centro de gravedad: $x^* = \dfrac{\sum_i l_i x_i}{\sum_i l_i}$ y $y^* = \dfrac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i}$

TÉRMINOS CLAVE

calidad de vida 422
centro de gravedad 433
heurística 444
localización de la instalación 420
masa crítica 424
método carga-distancia 432
método de transporte 441
optimización 444
simulación 444
sistema de información geográfica (GIS) 424

PROBLEMA RESUELTO 1

Un fabricante de aparatos electrónicos desea expandirse y para ello, tiene que construir una segunda instalación. La búsqueda se ha reducido a cuatro localizaciones, todas aceptables para la gerencia en términos de los factores dominantes. La evaluación de esos sitios, realizada en función de siete factores de localización se presenta en la tabla 11.1. Por ejemplo, en la localización A, al factor de ambiente laboral le corresponde una puntuación de 5 (excelente); la ponderación correspondiente a este factor (20) es la más alta de todas.

Calcule la puntuación ponderada de cada localización. ¿Qué localización es la más recomendable?

SOLUCIÓN

Con base en las puntuaciones ponderadas de la tabla 11.2, la localización C representa el sitio preferido, aunque la localización B le sigue de cerca en segundo lugar.

TABLA 11.1 Información de los factores para un fabricante de aparatos electrónicos

		Puntuación del factor para cada localización			
Factor de localización	**Ponderación del factor**	**A**	**B**	**C**	**D**
1. Ambiente laboral	20	5	4	4	5
2. Calidad de vida	16	2	3	4	1
3. Sistema de transporte	16	3	4	3	2
4. Proximidad a los mercados	14	5	3	4	4
5. Proximidad a los materiales	12	2	3	3	4
6. Impuestos	12	2	5	5	4
7. Servicios públicos	10	5	4	3	3

TABLA 11.2 Cálculo de puntuaciones ponderadas para un fabricante de aparatos electrónicos

		Puntuación ponderada para cada localización			
Factor de localización	**Ponderación del factor**	**A**	**B**	**C**	**D**
1. Ambiente laboral	20	100	80	80	100
2. Calidad de vida	16	32	48	64	16
3. Sistema de transporte	16	48	64	48	32
4. Proximidad a los mercados	14	70	42	56	56
5. Proximidad a los materiales	12	24	36	36	48
6. Impuestos	12	24	60	60	48
7.Servicios públicos	10	50	40	30	30
Totales	100	348	370	374	330

PROBLEMA RESUELTO 2

El gerente de operaciones de Mile-High Beer ha reducido a sólo siete comunidades la búsqueda de la localización más favorable para su nueva instalación. Los costos fijos anuales (terreno, impuestos sobre la propiedad, seguros, equipo y edificios) y los costos variables (mano de obra, materiales, transporte y gastos generales variables) se presentan en la tabla 11.3.

a. ¿Cuáles de estas comunidades pueden ser eliminadas de futura consideración porque están dominadas (tanto los costos variables como los costos fijos son más altos) por otra comunidad?

b. Trace las curvas del costo total para todas las demás comunidades en un mismo gráfico. Identifique en el gráfico el rango aproximado en el que cada una de las comunidades ofrece el costo más bajo.

c. Usando el análisis del punto de equilibrio, calcule las cantidades de equilibrio para determinar el rango en el cual cada comunidad proporciona el costo más bajo.

SOLUCIÓN

a. Aurora y Colorado Springs están dominadas por Fort Collins, ya que tanto los costos fijos como los variables son más altos en esas comunidades que en Fort Collins. Englewood está dominada por Golden.

b. La figura 11.14 muestra que Fort Collins es mejor para volúmenes bajos, Boulder lo es para volúmenes intermedios y Denver es preferible para altos volúmenes. A pesar de que Golden no está dominada por ninguna otra comunidad, es la segunda o tercera opción sobre todo el rango. Golden no llega a ser la opción de menor costo a ningún volumen.

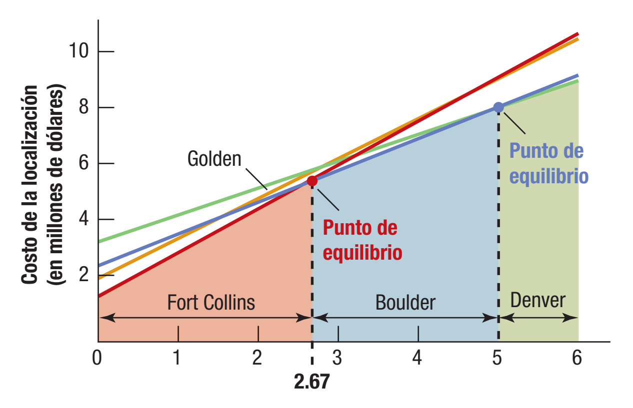
c. El punto de equilibrio entre Fort Collins y Boulder es

$$\$1{,}200{,}000 + \$15Q = \$2{,}000{,}000 + \$12Q$$
$$Q = 266{,}667 \text{ barriles por año}$$

TABLA 11.3 Costos fijos y variables de Mile-High Beer

Comunidad	Costos fijos por año	Costos variables por barril
Aurora	$1,600,000	$17.00
Boulder	$2,000,000	$12.00
Colorado Springs	$1,500,000	$16.00
Denver	$3,000,000	$10.00
Englewood	$1,800,000	$15.00
Fort Collins	$1,200,000	$15.00
Golden	$1,700,000	$14.00

FIGURA 11.14
Análisis del punto de equilibrio de cuatro posibles localizaciones



El punto de equilibrio entre Denver y Boulder es

$$\$3{,}000{,}000 + \$10Q = \$2{,}000{,}000 + \$12Q$$
$$Q = 500{,}000 \text{ barriles por año}$$

PROBLEMA RESUELTO 3

Un proveedor de la industria de suministro de energía eléctrica maneja un producto pesado y, por esa razón, los costos de transporte son altos. Una de sus áreas de mercado incluye la parte baja de la región de los Grandes Lagos y la porción alta de la región del sureste de Estados Unidos. Se tienen que embarcar más de 600,000 toneladas a ocho importantes localizaciones de clientes, como muestra la tabla 11.4.

a. Calcule el centro de gravedad, redondeando las coordenadas al décimo más cercano.
b. Calcule la puntuación carga-distancia para esta localización, usando la distancia rectilínea.

SOLUCIÓN

a. El centro de gravedad se encuentra en (12.4, 9.2).

$$\sum_i l_i = 5+92+70+35+9+227+16+153 = 607$$

$$\sum_i l_i x_i = 5(7)+92(8)+70(11)+35(11)+9(12)+227(13)+16(14)+153(15)$$
$$= 7{,}504$$

$$x^* = \frac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i} = \frac{7{,}504}{607} = 12.4$$

$$\sum_i l_i y_i = 5(13)+92(12)+70(10)+35(7)+9(4)+227(11)+16(10)+153(5) = 5{,}572$$

$$y^* = \frac{\sum_i l_i y_i}{\sum_i l_i} = \frac{5{,}572}{607} = 9.2$$

b. La puntuación carga-distancia es

$$ld = \sum_i l_i d_i = 5(5.4+3.8)+92(4.4+2.8)+70(1.4+0.8)+35(1.4+2.2)$$
$$+9(0.4+5.2)+227(0.6+1.8)+16(1.6+0.8)+153(2.6+4.2)$$
$$= 2{,}662.4$$

donde

$$d_i = |x_i - x^*| + |y_i - y^*|$$

TABLA 11.4 Mercados del proveedor de la industria eléctrica

Localización del cliente	Toneladas embarcadas	Coordenadas *x*, *y*
Three Rivers, MI	5,000	(7, 13)
Fort Wayne, IN	92,000	(8, 12)
Columbus, OH	70,000	(11, 10)
Ashland, KY	35,000	(11, 7)
Kingsport, TN	9,000	(12, 4)
Akron, OH	227,000	(13, 11)
Wheeling, WV	16,000	(14, 10)
Roanoke, VA	153,000	(15, 5)

PROBLEMA RESUELTO 4

Arid Company fabrica remos para canoa que surte a centros de distribución situados en Worchester, Rochester y Dorchester, desde sus plantas instaladas en Battle Creek y Cherry Creek. Se espera que la demanda anual aumente según lo proyectado en la fila inferior del tableau, ilustrado en la figura 11.15. Arid está considerando la posibilidad de instalar una planta cerca de las fuentes de Dee Creek. La capacidad anual de cada planta se muestra en la columna de la derecha del tableau. Los costos de transporte por cada remo se indican en el tableau en los recuadros pequeños. Por ejemplo, el costo de enviar un remo de Battle Creek a Worchester es de $4.37. También se muestran las asignaciones óptimas. Por ejemplo, Battle Creek embarca 12,000 unidades a Rochester. ¿Cuáles son los costos de transporte estimados que se asocian con este patrón de asignación?

FIGURA 11.15

Solución óptima para Arid Company

Origen	Destino			Capacidad
	Worchester	Rochester	Dorchester	
Battle Creek	$4.37	$4.25 **12,000**	$4.89	12,000
Cherry Creek	$4.00 **6,000**	$5.00 **4,000**	$5.27	10,000
Dee Creek	$4.13	$4.50 **6,000**	$3.75 **12,000**	18,000
Demanda	6,000	22,000	12,000	40,000

SOLUCIÓN

El costo total es de $167,000.

Enviar 12,000 unidades de Battle Creek a Rochester @ $4.25.	Costo =	$ 51,000
Enviar 6,000 unidades de Cherry Creek a Worchester @ $4.00.	Costo =	$ 24,000
Enviar 4,000 unidades de Cherry Creek a Rochester @ $5.00.	Costo =	$ 20,000
Enviar 6,000 unidades de Dee Creek a Rochester @ $4.50.	Costo =	$ 27,000
Enviar 12,000 unidades de Dee Creek a Dorchester @ $3.75.	Costo =	$ 45,000
	Total	$167,000

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. Divida al grupo en equipos. Elija dos organizaciones, una del ramo de servicios y una de manufactura, que sean conocidas por algunos de los miembros de cada equipo. ¿Cuáles son los factores clave que tendría que considerar cada una de esas organizaciones para seleccionar la localización adecuada de una nueva instalación? ¿Qué datos tendría que recopilar antes de evaluar las opciones de localización y cómo los obtendría? Explique su respuesta.
2. El propietario de un equipo de las ligas mayores de béisbol estudia la posibilidad de trasladar a su equipo de su sede actual en una ciudad en la región alta del medio oeste de Estados Unidos a una ciudad del sureste, que ofrece un mercado de televisión más amplio y un estadio nuevo, tiene potencial de un mayor grado de apoyo de los aficionados. ¿Qué otros factores debe tomar en consideración el dueño del equipo antes de tomar la decisión de cambiar de sede?

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar

los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Calcule la puntuación ponderada de cada una de las localizaciones (A, B, C y D) que aparecen en la tabla 11.5. ¿Cuál de ellas recomendaría usted?

2. John y Jane Darling están recién casados y tienen que decidirse entre varias viviendas en alquiler. Calificaron las opciones con base en una escala del 1 al 5 (5 = mejor) contra criterios de desempeño ponderados, como se aprecia en la tabla 11.6. Entre esos criterios figuran el alquiler, la proximidad a las oportunidades laborales y recreativas, la seguridad y otras características del barrio asociadas con los valores y el estilo de vida de la pareja en cuestión. La alternativa A es un departamento, la B es un bungaló, la C es un condominio y la D es un departamento que ocupa la planta baja de la casa de los padres de Jane.

   ¿Cuál de estas localizaciones indica la matriz de preferencias? ¿Qué factores cualitativos podrían hacer que la preferencia por esa localización cambiara?

3. Se están considerando dos localizaciones alternativas para establecer una nueva planta: Jackson, Mississippi, y Dayton, Ohio. La localización de Jackson es preferible en términos de costos. Sin embargo, la gerencia estima que el volumen de ventas disminuiría si eligiera esta localización, porque está más lejos del mercado y porque los clientes de la empresa prefieren a los proveedores locales. En cualquiera de los casos, el precio de venta del producto es de $250 por unidad. Use la siguiente información para averiguar cuál de las localizaciones produce la contribución más alta al total de las utilidades anuales.

Localización	Costo fijo anual	Costo variable por unidad	Demanda pronosticada por año
Jackson	$1,500,000	$50	30,000 unidades
Dayton	$2,800,000	$85	40,000 unidades

4. Fall-Line, Inc. es una empresa establecida en Great Falls, Montana, que fabrica diversos tipos de esquís para descenso de montaña. Fall-Line está estudiando cuatro posibles localizaciones para establecer una nueva planta: Aspen, Colorado; Medicine Lodge, Kansas; Broken Bow, Nebraska; y Wounded Knee, Dakota del Sur. Los costos fijos anuales y los costos variables por cada par de esquís se presentan en la tabla que aparece al principio de la página siguiente.

TABLA 11.5 Factores para las localizaciones A-D

		Puntuación del factor para cada localización			
Factor de localización	**Ponderación del factor**	**A**	**B**	**C**	**D**
1. Ambiente laboral	5	5	4	3	5
2. Calidad de vida	30	2	3	5	1
3. Sistema de transporte	5	3	4	3	5
4. Proximidad a los mercados	25	5	3	4	4
5. Proximidad a los materiales	5	3	2	3	5
6. Impuestos	15	2	5	5	4
7. Servicios públicos	15	5	4	2	1
Total	100				

TABLA 11.6 Factores para los recién casados

		Puntuación del factor para cada localización			
Factor de localización	**Ponderación del factor**	**A**	**B**	**C**	**D**
1. Alquiler	25	3	1	2	5
2. Calidad de vida	20	2	5	5	4
3. Escuelas	5	3	5	3	1
4. Proximidad al trabajo	10	5	3	4	3
5. Proximidad a centros de recreación	15	4	4	5	2
6. Seguridad del barrio	15	2	4	4	4
7. Servicios públicos	10	4	2	3	5
Total	100				

Localización	Costos fijos anuales	Costo variable por par
Aspen	$8,000,000	$250
Medicine Lodge	$2,400,000	$130
Broken Bow	$3,400,000	$ 90
Wounded Knee	$4,500,000	$ 65

a. Dibuje en un mismo gráfico las curvas del costo total para todas las comunidades (véase el problema resuelto 2). Identifique en el gráfico el rango de volúmenes en el que cada localización sería la mejor.

b. ¿Qué cantidad al equilibrio define a cada rango?

A pesar de que los costos fijos y variables de Aspen están dominados por los de las otras comunidades, Fall-Line cree que tanto la demanda como el precio serían más altos si los esquís se fabricaran en Aspen que si su fabricación se realizara en las otras localizaciones. La siguiente tabla ilustra esas proyecciones.

Localización	Precio por par	Demanda pronosticada por año
Aspen	$500	60,000 pares
Medicine Lodge	$350	45,000 pares
Broken Bow	$350	43,000 pares
Wounded Knee	$350	40,000 pares

c. Determine qué localización produce la contribución total más alta a las utilidades por año.

d. ¿Es sensible a la precisión de los pronósticos esta decisión sobre localización? ¿A qué volumen mínimo de ventas Aspen se convierte en la localización preferente?

5. Wiebe Trucking, Inc. planea instalar un nuevo almacén para atender el oeste de Estados Unidos. Denver, Santa Fe y Salt Lake City son las ciudades que está considerando. En la siguiente tabla se presentan los costos fijos anuales (alquiler, equipo y seguro) y los costos variables promedio por embarque (mano de obra, transporte y servicios públicos) para cada localización. Las proyecciones de ventas fluctúan entre 550,000 y 600,000 embarques al año.

Localización	Costos fijos anuales	Costo variable por embarque
Denver	$5,000,000	$4.65
Santa Fe	$4,200,000	$6.25
Salt Lake City	$3,500,000	$7.25

a. Trace las curvas del costo total de todas las localizaciones en un solo gráfico.

b. ¿Qué ciudad ofrece los costos más bajos en general?

6. Sam Hutchins está planeando operar un kiosco de especialidades en el cual piensa vender sándwiches y *bagels*, pero no ha decidido todavía si le conviene establecerse en la plaza comercial del centro de la ciudad o en un centro comercial suburbano. Basándose en los siguientes datos, ¿qué localización le recomendaría usted?

Localización	Centro	Suburbano
Alquiler anual, incluyendo servicios públicos	$12,000	$8,000
Demanda anual esperada (sándwiches)	30,000	25,000
Costos variables promedio por sándwich	$1.50	$1.00
Precio de venta promedio por sándwich	$3.25	$2.85

7. Los tres puntos siguientes corresponden a las localizaciones de instalaciones importantes en una red de transporte: (20, 20), (50, 10) y (50, 60). Estas coordenadas están expresadas en millas.

a. Calcule las distancias euclidianas (en millas) entre cada uno de los tres pares de instalaciones.

b. Calcule esas distancias en términos de distancias rectilíneas.

8. Se ha proyectado establecer la Escuela Preparatoria Centura en el centro de gravedad demográfico de tres comunidades: Boelus, con 228 habitantes; Cairo, con 737; y Dannebrog con 356. La comunidad de Boelus está situada en 106.72°E, 46.31°N; Cairo está situada en 106.68°E, 46.37°N; y Dannebrog está situada en 106.77°E, 46.34°N. ¿Dónde debe localizarse la escuela?

LAS PREGUNTAS 9, 10 Y 16 REQUIEREN EL SOFTWARE MS MAPPOINT 2004

9. Snappy Pizza ha decidido abrir una pizzería donde venderá sólo pizzas para llevar y para reparto a domicilio en Fargo, Dakota del Norte. Quieren situarse cerca de las áreas densamente pobladas de la ciudad. La gerencia de Snappy creó un mapa de la densidad demográfica en los diferentes sectores censales de Fargo. Encontrará el mapa en el archivo "Snappy.ptm, en el CD-ROM del estudiante. Elija un sitio que tenga la mayor cantidad de gente posible en una zona que quede a menos de 5 minutos de trayecto en vehículo. Imprima el mapa de la zona de tiempo de conducción de 5 minutos. Será conveniente que vea el video del SME de Tyler en el CD-ROM del estudiante antes de empezar a resolver este problema.

10. Office Warehouse ha decidido localizar su nueva instalación en Red Bluff, California. Encontrará un mapa de los clientes de esta empresa en el archivo "Office Warehouse.ptm" en el CD-ROM del estudiante. Las cargas que se entregan anualmente a cada cliente (expresadas en toneladas de material) son:

Nombre del cliente	Dirección	Toneladas de materiales entregadas anualmente
Standard Products	2808 Live Oak Road Red Bluff, CA 96080	4,000
National Products	1437 Warren Ave Red Bluff, CA 96080	3,000
Golf Cart, Inc.	630 Nicklaus Avenue Red Bluff, CA 96080	7,000
Acme Corp.	277 Gurnsey Dr. Red Bluff, CA 96080	2,000
Speedy Electronics	1371 Trinity Avenue Red Bluff, CA 96080	1,000

Determine el centro de gravedad de los clientes de Office Warehouse en Red Bluff. Use el sensor de localización en MapPoint para determinar la longitud y la latitud de cada uno de los clientes y después use el modelo activo 11.1.

11. Val's Pizza está buscando una localización central única, en la cual planea elaborar sus pizzas destinadas exclusivamente al reparto a domicilio. Esta ciudad universitaria está dispuesta como una cuadrícula con avenidas principales, como se aprecia en la figura 11.16. El campus principal (A), localizado en 14th y R, genera 4,000 pedidos de pizza por semana. Tres campus más pequeños (B, C y D) están localizados en 52nd y V, en 67th y Z, y en 70th y South. Los pedidos de los campus más pequeños promedian 1,000 pizzas por semana. Además, el cuartel general de la Patrulla del Estado (E), en 10th y A, pide 500 pizzas por semana.

- **a.** ¿Aproximadamente en qué intersección le convendría a Val empezar a buscar un sitio adecuado? (Calcule primero las coordenadas de los principales sitios de demanda, redondeándolas hasta el $\frac{1}{4}$ de milla más próximo, y encuentre después el centro de gravedad).
- **b.** ¿Cuál es la puntuación semanal carga-distancia rectilínea para esta localización?
- **c.** Si el repartidor puede recorrer una milla en dos minutos por las avenidas y $\frac{1}{4}$ de milla por minuto en las calles residenciales, ¿cuánto tiempo tardará en ir desde la localización del centro de gravedad hasta el lugar más lejano en el cual exista demanda?

12. Se proyecta la construcción de una oficina central de correos más grande y moderna en una nueva localización en Davis, California. El crecimiento de las zonas suburbanas ha provocado un cambio en la densidad de población con respecto a la que había hace 40 años, cuando se construyó la instalación actual. Annette Werk, la administradora de correos, ha pedido a sus asistentes que dibujen un mapa en forma de cuadrícula de los siete puntos donde se recoge y entrega la correspondencia a granel. Las coordenadas y los recorridos diarios de y a los siete puntos donde llega toda la correspondencia y la actual oficina principal de correos, M, se muestran en la siguiente tabla. M seguirá siendo un punto de concentración de correspondencia después de la reubicación.

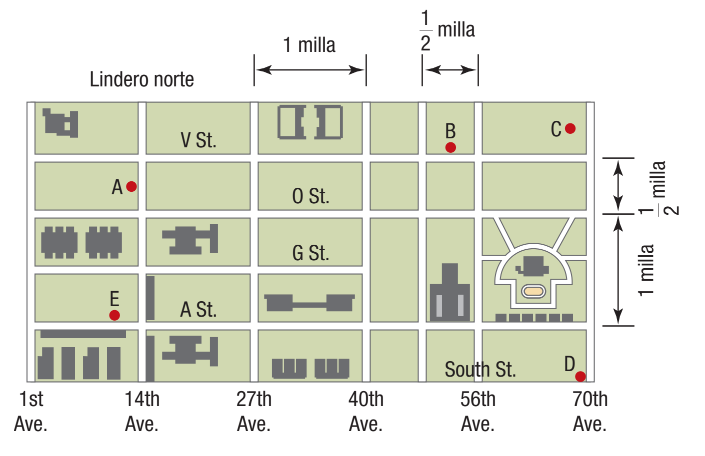


FIGURA 11.16 | Mapa del área del campus

Punto de concentración de correspondencia	Viajes redondos por día	Coordenadas *x, y* (millas)
1	6	(2, 8)
2	3	(6, 1)
3	3	(8, 5)
4	3	(13, 3)
5	2	(15, 10)
6	7	(6, 14)
7	5	(18, 1)
M	3	(10, 3)

- **a.** Calcule el centro de gravedad como una posible localización de la nueva instalación (redondee el resultado al número entero más próximo).
- **b.** Compare las puntuaciones carga-distancia para la localización de la parte (a) y para la localización actual, utilizando distancias rectilíneas.

13. Paramount Manufacturing está investigando qué localización sería más conveniente para establecer una nueva planta en relación con dos proveedores (localizados en las ciudades A y B) y un área de mercado (representada por la ciudad C). La gerencia ha limitado a sólo tres localizaciones la búsqueda del sitio para establecer esta planta. Para eso, ha recopilado la siguiente información:

Localización	Coordenadas (millas)	Toneladas por año	Flete ($/ton-milla)
A	(100, 200)	4,000	$3.00
B	(400, 100)	3,000	$1.00
C	(100, 100)	4,000	$3.00

- **a.** ¿Cuál de las tres localizaciones da el costo total más bajo, basándose en distancias euclidianas? [*Sugerencia*: el costo anual de los embarques entrantes del proveedor A a la nueva planta es de $12,000 por milla (4,000 ton por año × $3.00 por ton-milla)].
- **b.** ¿Qué localización es la mejor, con base en distancias rectilíneas?
- **c.** ¿Cuáles son las coordenadas del centro de gravedad?

14. Un fabricante de computadoras personales planea ubicar su planta de ensamble en Taiwán y luego embarcar sus computadoras de regreso a Estados Unidos, ya sea por Los Ángeles o por San Francisco. La empresa tiene centros de distribución en Atlanta, Nueva York y Chicago, y enviará los productos hacia estos centros desde la ciudad que elija como puerto de entrada en la costa oeste. El costo general de transporte es el único criterio para la selección del puerto. Use el modelo de carga-distancia y la información de la tabla 11.7 para seleccionar la ciudad más rentable.

PROBLEMAS AVANZADOS

15. Fire Brand fabrica salsa picante en El Paso y en la ciudad de Nueva York. Sus centros de distribución se encuentran en Atlanta, Omaha y Seattle. Tomando como base las respecti-

TABLA 11.7 | Distancias y costos para un fabricante de computadoras personales

		Centro de distribución (unidades/año)		
		Chicago (10,000)	**Atlanta (7,500)**	**Nueva York (12,500)**
PUERTO DE ENTRADA	*Los Ángeles*			
	Distancia (millas)	1,800	2,600	3,200
	Costo de embarque ($/unidad)	0.0017/milla	0.0017/milla	0.0017/milla
	San Francisco			
	Distancia (millas)	1,700	2,800	3,000
	Costo de embarque ($/unidad)	0.0020/milla	0.0020/milla	0.0020/milla

vas capacidades, localizaciones y costos de embarque por caja que aparecen en la figura 11.17, determine el patrón de embarques que minimice los costos de transporte. ¿Cuáles son los costos de transporte estimados que corresponden a este patrón de asignación óptimo?

16. Metro Supply ha decidido reubicar su almacén. Determine una buena localización para el nuevo almacén, basándose en minimizar el número de millas recorridas. Encontrará las direcciones y el número de recorridos realizados para atender a cada uno de los clientes el año pasado, en el archivo “Metro Supply.xls”, mismos que se ilustran en un archivo “Metro Supply.ptm” (un mapa de MapPoint) en el CD-ROM del estudiante. Para su comodidad, el centro de gravedad se señala en el mapa. Introduzca la dirección que usted propone para la localización del almacén en la hoja de cálculo “Distribution Centers” en el archivo “Metro Supply.xls” y ejecute la macro seleccionando el botón en la hoja de cálculo “Customers” para determinar el millaje total del viaje sencillo (que, en esencia, es la puntuación carga-distancia). Será conveniente que vea el video de Witherspoon Automotive en el CD-ROM del estudiante antes de empezar a resolver este problema.

17. Pelican Company tiene cuatro centros de distribución (A, B, C y D) que requieren 40,000, 60,000, 30,000 y 50,000 galones mensuales de combustible diesel, respectivamente, para sus camiones foráneos. Tres vendedores mayoristas de combustible (1, 2 y 3) han manifestado su interés en abastecer hasta 50,000, 70,000 y 60,000 galones de combustible, respectivamente. El costo total (precio más transporte) del envío de mil galones de combustible desde cada mayorista hasta cada centro de distribución se presenta en la siguiente tabla:

	Centro de distribución			
Mayoristas	**A**	**B**	**C**	**D**
1	$1.30	$1.40	$1.80	$1.60
2	$1.30	$1.50	$1.80	$1.60
3	$1.60	$1.40	$1.70	$1.50

a. Encuentre la solución óptima. Demuestre que todas las capacidades han sido agotadas y que todas las demandas pueden satisfacerse con esta solución.
b. ¿Cuál es el costo total de la solución?

18. Acme Company tiene cuatro fábricas que envían productos a cinco almacenes. Los costos de embarque, necesidades de capacidad y las asignaciones óptimas aparecen en la figura 11.18. ¿Cuál es el costo total de la solución óptima?

19. Giant Farmer Company procesa alimentos que después se venden en tiendas de descuento. Tiene dos plantas: una en Chicago y la otra en Houston. La empresa también maneja almacenes en Miami, Denver, Lincoln, Nebraska y Jackson, Mississippi. Los pronósticos indican que la demanda pronto superará la oferta y que se necesita una nueva planta con capacidad de 8,000 cajas por semana. La pregunta es: ¿dónde conviene establecer la nueva planta? Dos sitios posibles son Buffalo, Nueva York y Atlanta. Se han recopilado los siguientes datos sobre capacidades, demanda pronosticada y costos de embarque.

Origen	**Destino**			**Capacidad**
	Atlanta	Omaha	Seattle	
El Paso	$4	$5	$6	12,000
Ciudad de Nueva York	$3	$7	$9	10,000
Demanda	8,000	10,000	4,000	22,000

FIGURA 11.17 | Tableau de transporte para Fire Brand

Fábrica	Costo de embarque al almacén, por caja					Capacidad
	A1	A2	A3	A4	A5	
F1	$1 **60,000**	$3 **20,000**	$4	$5	$6	80,000
F2	$2	$2	$1 **50,000**	$4 **10,000**	$5	60,000
F3	$1	$5	$1	$3 **20,000**	$1 **40,000**	60,000
F4	$5	$2 **50,000**	$4	$5	$4	50,000
Demanda	60,000	70,000	50,000	30,000	40,000	250,000

FIGURA 11.18

Solución óptima para Acme Company

Planta	Capacidad (cajas por semana)	Almacén	Demanda (cajas por semana)
Chicago	10,000	Miami	7,000
Houston	7,500	Denver	9,000
Nueva planta	8,000	Lincoln	4,500
Total	25,500	Jackson	5,000
		Total	25,500

Planta	Costo de embarque al almacén (por caja)			
	Miami	Denver	Lincoln	Jackson
Chicago	$7.00	$ 2.00	$4.00	$5.00
Houston	$3.00	$ 1.00	$5.00	$2.00
Buffalo (alternativa 1)	$6.00	$ 9.00	$7.00	$4.00
Atlanta (alternativa 2)	$2.00	$10.00	$8.00	$3.00

Para cada alternativa de localización de la nueva planta, determine el patrón de embarques que minimice los costos totales de transporte. ¿Dónde deberá localizarse la nueva planta?

20. Ajax International Company tiene cuatro fábricas que envían productos a cinco almacenes. Los costos de embarque, necesidades y capacidades se presentan en la figura 11.19. Use el método de transporte para encontrar el programa de embarques que minimice el costo de transporte.

21. Siga considerando la situación de Ajax International Company, descrita en el problema 20. Ajax ha decidido cerrar la fábrica F3 por sus altos costos de operación. Además, la empresa ha resuelto añadir 50,000 unidades de capacidad a F4. Al gerente de logística le preocupa el efecto que esta medida puede tener sobre los costos de transporte. Actualmente, F3 envía 30,000 unidades al A4 y 50,000 unidades al A5, al costo de $140,000 [o sea, 30,000(3) + 50,000(1)]. Si F4 atendiera estos almacenes, el costo se elevaría a $350,000 [o sea, 30,000(5) + 50,000(4)]. En consecuencia, el gerente de logística de Ajax ha solicitado un aumento de presupuesto de $210,000 ($350,000 – $140,000).

a. ¿Se le deberá conceder al gerente de logística el aumento de presupuesto que ha solicitado?

b. Si no es así, ¿en cuánto presupuestaría usted el incremento en los costos de embarque?

22. Considere el caso presentado en el problema 19 sobre la localización de una instalación de Giant Farmer Company. La gerencia está pensando ahora en un tercer sitio, en Memphis. Los costos de embarque por caja desde Memphis son de $3 a Miami, $11 a Denver, $6 a Lincoln y $5 a Jackson. Encuentre el plan de costo mínimo para una planta alternativa en Memphis. ¿Este resultado cambiaría la decisión tomada en el problema 19?

23. Chambers Corporation produce y comercializa un producto para evitar el robo de automóviles, y mantiene inventarios del mismo en diversos almacenes de todo el país. Recientemente, su grupo de investigación de mercados compiló un pronóstico según el cual se presentará un incremento significativo de la demanda en el futuro cercano, después de lo cual la demanda se nivelará para el resto del futuro previsible. La empresa ha decidido satisfacer esta demanda mediante la construcción de nueva capacidad de planta. Chambers ya cuenta con plantas en Baltimore y Milwaukee, y no desea reubicar esas instalaciones. Cada una de sus plantas es capaz de producir 600,000 unidades al año.

Al cabo de una cuidadosa búsqueda, la empresa formuló tres alternativas de sitios y capacidades. La alternativa 1 consiste en construir una planta de 600,000 unidades en Portland. La alternativa 2, en construir una planta de 600,000 unidades en San Antonio. La alternativa 3, en construir una planta de 300,000 unidades en Portland y otra planta de 300,000 unidades en San Antonio. La empresa tiene cuatro

FIGURA 11.19
Tableau de transporte de Ajax International

Fábrica	Costo de embarque al almacén, por caja						Capacidad
	A1	A2	A3	A4	A5	Ficticio	
F1	$1	$3	$3	$5	$6	$0	50,000
F2	$2	$2	$1	$4	$5	$0	80,000
F3	$1	$5	$1	$3	$1	$0	80,000
F4	$5	$2	$4	$5	$4	$0	40,000
Demanda	45,000	30,000	30,000	35,000	50,000	60,000	250,000

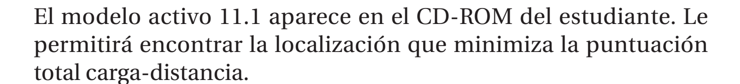
almacenes que distribuyen el producto a minoristas. El estudio de investigación de mercado arrojó los siguientes datos:

Almacén	Demanda anual esperada
Atlanta (AT)	500,000
Columbus (CO)	300,000
Los Angeles (LA)	600,000
Seattle (SE)	400,000

El departamento de logística compiló la siguiente tabla de costos, en la cual se especifica el costo unitario de enviar el producto de cada planta a cada almacén en la forma más económica, dependiendo de la fiabilidad de los diversos transportistas participantes.

	Almacén			
Planta	**AT**	**CO**	**LA**	**SE**
Baltimore	$0.35	$0.20	$0.85	$0.75
Milwaukee	$0.55	$0.15	$0.70	$0.65
Portland	$0.85	$0.60	$0.30	$0.10
San Antonio	$0.55	$0.40	$0.40	$0.55

Como parte de la decisión de localización, la gerencia desea contar con un cálculo aproximado del costo total de distribución para cada alternativa. Aplique el método de transporte para calcular esas estimaciones.



EJERCICIO DE MODELO ACTIVO

El modelo activo 11.1 aparece en el CD-ROM del estudiante. Le permitirá encontrar la localización que minimiza la puntuación total carga-distancia.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la puntuación total carga-distancia a la nueva instalación médica de Health-Watch si ésta se localiza en el centro de gravedad?
2. Fije la coordenada *y*, y use la barra de desplazamiento para modificar la coordenada *x*. ¿Puede reducir la puntuación total carga-distancia?
3. Fije la coordenada *x*, y use la barra de desplazamiento para modificar la coordenada *y*. ¿Puede reducir la puntuación total carga-distancia?
4. El centro de gravedad no necesariamente encuentra el sitio con la puntuación total carga-distancia mínima. Use las dos barras de desplazamiento para mover la localización de prueba, y vea si puede mejorar (disminuir) la puntuación total carga-distancia.

CASO 1

Industrial Repair, Inc.

Desde hace 25 años, Industrial Repair (IR) opera su negocio de reparación de máquinas industriales desde sus oficinas principales, situadas en 26 Arbor Street, Hartford, Connecticut. Al principio, casi todos sus clientes tenían operaciones solamente en Hartford. Sin embargo, la buena reputación de servicio oportuno que IR se forjó le ha permitido crecer y, como resultado, en la actualidad atiende a "clientes" en todo el estado de Connecticut. Cuando se descomponen las máquinas industriales de sus clientes, éstos llaman a IR para que las arregle. Al recibir una solicitud de servicio, IR envía a un equipo de dos técnicos y una camioneta al sitio del cliente lo más pronto posible. Debido a que el tiempo de inactividad de las máquinas es muy costoso para los clientes de IR, es importante que la empresa responda con prontitud a las llamadas de los clientes.

IR observó que en los últimos dos años se produjo una serie de cambios en el mercado de la reparación industrial. Varias compañías han incursionado en el mercado y el nivel de competencia ha aumentado. Además, a medida que los clientes adoptan el sistema justo a tiempo, son menos tolerantes a las demoras largas en la llegada de los equipos de reparación. La gerencia de IR cree que cada vez le resultará más difícil conservar o atraer clientes que estén situados a más de 30 minutos de sus instalaciones. Debido a que muchos de sus clientes están a más de 30 minutos de viaje, los gerentes de IR comprenden que tendrán que estudiar con mayor detenimiento sus opciones de localización. Idealmente, a la gerencia le gustaría simplemente reubicar la instalación actual. Sin embargo, tal vez sea necesario operar dos instalaciones para abarcar toda la base de clientes y prever una expansión en el futuro. Si IR opera dos instalaciones, conservará la actual y establecerá una nueva en otra parte. Como ayuda para el análisis, los gerentes recopilaron la dirección de cada cliente y el número de reparaciones que solicitaron el año pasado.

Los contadores de IR determinaron que los técnicos cuestan a la compañía aproximadamente $75 por hora, cifra que incluye salario, prestaciones y talleres de capacitación frecuentes. Puesto que los técnicos siempre trabajan en equipos de dos, una hora de viaje le cuesta a IR $150. Además, después de tomar en cuenta todos los costos fijos y variables asociados con las camionetas, IR calcula que operarlas le cuesta $2 por milla.

Si IR abre una instalación, le costará $100,000 en gastos iniciales (que deberá depreciar a lo largo de 10 años usando la depreciación en línea recta). Si decide tener dos instalaciones, le costará $70,000 adicionales al año en gastos de operación. IR usa una tasa de descuento de 12% en sus decisiones de inversión. La tasa impositiva que paga es de 40%.

La gerencia de IR ha encomendado a Andrew Morgan, el gerente de la instalación, la tarea de investigar y presentar recomendaciones sobre los mejores puntos de localización si IR usa una sola instalación o dos. Como se mencionó antes, IR ha decidido que, para la opción de dos instalaciones, conservará la planta actual y abrirá una nueva. La gerencia también ha solicitado que las recomendaciones de Morgan tomen en consideración tanto los costos de transporte como el porcentaje de clientes que se localizan en la zona de 30 minutos de viaje desde las instalaciones de IR.

(Las direcciones y el número de reparaciones de cada cliente en el transcurso del año pasado ya se han introducido en el *Solver* de OM Explorer "Center of Gravity Using MS MapPoint 2004-IR Case" y "Multiple Facilities Location-Driving Time and Distance Calculator Using MS MapPoint 2004-IR Case". Tenga en cuenta que en el segundo caso, el *Solver* de OM Explorer muestra el tiempo de viaje de cada cliente a la instalación más cercana. En el caso donde usará la instalación actual conjuntamente con una nueva, puede introducir ambas localizaciones en el *Solver* de OM Explorer para determinar el tiempo de viaje a la instalación más cercana).

PREGUNTAS

1. Determine la mejor localización si IR decide usar sólo una instalación. Asegúrese de calcular en su informe el valor presente neto (NPV) usando un horizonte de 10 años para esta reubicación y el porcentaje de reparaciones que quedan a menos de 30 minutos de la localización elegida.
2. Determine la mejor localización para el nuevo sitio si IR decide usar dos instalaciones (conservando el sitio existente como la primera instalación). Asegúrese de calcular en su informe el NPV usando un horizonte de 10 años para esta reubicación y el porcentaje de reparaciones que quedan a menos de 30 minutos de las localizaciones elegidas.
3. ¿Qué debe recomendar Andrew? Proporcione una explicación que sustente la recomendación.

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Patrick R. Philipoom, University of South Carolina, como base para la discusión en el aula.

CASO 2

R.U. Reddie para localización

R.U. Reddie Corporation, empresa localizada en Chicago, fabrica ropa especialmente diseñada para animales de peluche tomados de personajes de dibujos animados, como Snoopy y Wile E. Coyote. Entre los productos más populares figuran un esmoquin de boda para Snoopy y un chaleco antibalas para Wile E. Coyote. Este último es capaz de detener un cohete Acme disparado a corta distancia… bueno, a veces.

Para muchas ventas, la compañía cuenta con la ayuda de los niños mimados que se niegan a salir de la juguetería hasta que sus padres les compren un guardarropa para sus animales de peluche. Rhonda Ulysses Reddie, propietaria de la compañía, está preocupada por las proyecciones de mercado que indican que la demanda del producto es sensiblemente mayor que la actual capacidad de la planta. Las proyecciones "más probables" indican que la compañía se quedará corta con 400,000 unidades el próximo año y, a partir de entonces, su producción tendrá un déficit de 700,000 unidades anuales. Por ello, Rhonda está pensando en la posibilidad de abrir una nueva planta para producir las unidades adicionales.

Antecedentes

R.U. Reddie Corporation tiene actualmente tres plantas localizadas en Boston, Cleveland y Chicago, respectivamente. La primera planta de la compañía fue la de Chicago, pero a medida que las ventas aumentaron en la región del Medio Oeste y el Noreste de Estados Unidos, se construyeron rápidamente las plantas de Cleveland y Boston. Conforme la demanda de atuendos para animales de peluche se trasladó al oeste, se abrieron centros de almacenamiento en Saint Louis y Denver. Se ampliaron las capacidades de las tres plantas para satisfacer la demanda. Cada planta tiene su propio almacén para satisfacer la demanda del área que atiende. Se utilizó capacidad extra para enviar el producto a Saint Louis o Denver.

Los nuevos pronósticos a largo plazo proporcionados por el departamento de ventas representan tanto buenas como malas noticias. No hay duda de que los ingresos adicionales aumentarían la rentabilidad de Rhonda, pero la compañía tendría que construir otra planta para realizar dichas utilidades adicionales. No hay espacio disponible en las plantas existentes y los beneficios de la nueva tecnología de fabricación de ropa para animales de peluche son sumamente atractivos. Estos factores motivaron la búsqueda de la mejor localización para una nueva planta. Rhonda ha identificado Denver y Saint Louis como posibles localizaciones de la nueva planta.

Preocupaciones de Rhonda

La adición de una planta es una decisión muy importante. A Rhonda le preocupa la precisión de los datos que logró obtener. En especial, le preocupan los aspectos de mercado, financieros y de operaciones.

Mercado

La demanda proyectada para los años 2 a 10 muestra un incremento anual de 700,000 unidades para un total de 2,000,000 unidades cada año. Dos cosas le preocupan a Rhonda a este respecto. Primero, ¿y si las proyecciones para cada ciudad tienen un margen de error generalizado de ±10%? Es decir, las demandas anuales totales podrían fluctuar entre 1,800,000 y 2,200,000 unidades, y cada ciudad resultaría afectada en la misma medida que las otras. Segundo, el gerente de marketing expresó su preocupación por un posible desplazamiento del mercado del Medio Oeste y Noreste al Oeste. En estas circunstancias, la demanda adicional llegaría a 50,000 unidades en Saint Louis y 150,000 unidades en Denver, aunque las otras ciudades seguirían ubicándose dentro de las proyecciones de demanda "más probables".

Finanzas

Rhonda se dio cuenta de que el valor presente neto (NPV, del inglés *net present value*) de cada alternativa es un dato importante para la decisión final. Sin embargo, la precisión de los cálculos de los diversos costos es crucial para determinar buenos estimados de los flujos de efectivo. Rhonda se preguntó si su decisión cambiaría si los COGS (costos variables de producción más costos de transporte) de cada opción tendrían un margen de error de ±10%. Es decir, ¿qué pasaría si los costos variables de producción y los costos de transporte de Saint Louis fueran 10% más altos que lo estimado, mientras que los costos variables de producción y los costos de transporte de Denver fueran 10% más bajos que lo estimado, o viceversa? Además, ¿y si la estimación de los costos fijos tuviera un margen de error de ±10%? Por ejemplo, suponga que Saint Luis fuera 10% más alto y Denver 10% más bajo, o viceversa. ¿La recomendación cambiaría en cualquiera de estas situaciones?

Operaciones

La localización final de la nueva planta determinará las asignaciones de distribución y el nivel de utilización de cada planta de la red. Si se reduce la producción en cualquiera de las plantas, cambiarán las asignaciones de distribución de todas las plantas. Debido a que las proyecciones "más probables" de la demanda con una nueva planta implican exceso de capacidad en el sistema, la capacidad de la planta de Cleveland podría reducirse a partir del año 2. Suponga que Cleveland reduce la producción en 50(000) unidades al año a partir del año 2. ¿Esta medida afectará la decisión entre Denver y Saint Louis? ¿Cuál será el impacto sobre las asignaciones de distribución de la planta? También es necesario tomar en consideración algunos aspectos no cuantificables. Primero, la disponibilidad de mano de obra calificada es mucho mejor en Denver que en Saint Louis debido al cierre reciente de una fábrica de Beanie Baby. El mercado laboral está mucho más restringido en Saint Louis y el pronóstico es que seguirá habiendo escasez de oferta de mano de obra en el futuro previsible. Segundo, en el área metropolitana de Denver se acaban de instituir normas ambientales estrictas. La nueva planta de Rhonda acataría las leyes existentes, pero hay una gran conciencia en el área sobre la protección del medio ambiente y es posible que en el futuro se impongan más normas. Es costoso modificar una planta una vez que ha iniciado operaciones. Por último, Denver tiene varios proveedores buenos que tienen la capacidad de colaborar en el diseño de la producción (nuevas modas de ropa). Saint Louis también tiene proveedores, pero éstos no pueden colaborar en el desarrollo de los productos. La cercanía a los proveedores que tienen capacidad de desarrollo de productos es un "plus" en esta industria.

Datos

Se han recopilado los siguientes datos para Rhonda:

1. El costo unitario de embarque con base en las tarifas promedio por tonelada-milla que ofrecen los transportistas más eficientes es de $0.0005 por milla. El ingreso promedio por atuendo es de $8.00.
2. En la actualidad, la compañía tiene las siguientes restricciones de capacidad:

	Capacidad
(i) Boston	400
(ii) Cleveland	400
(iii) Chicago	500

3. Los datos relativos a las diferentes localizaciones se encuentran en la tabla 11.8.
4. Información sobre la nueva planta:

Alternativa	Edificio y equipo[1]	Costos fijos anuales (gastos de venta, generales y administrativos)[1,3]	Costos variables de producción/ unidad	Terreno[1]
Denver	$12,100	$550	$3.15	$1,200
St. Louis	10,800	750	3.05	800

[1]Las cifras se expresan en millares.

[2]Valor neto en libros de planta y equipo con vida depreciable remanente de 10 años.

[3]Los costos fijos anuales no incluyen la depreciación de planta y equipo.

5. El millaje en carretera entre las ciudades es:

	Boston	Cleveland	Chicago	St. Louis	Denver
Boston	—	650	1,000	1,200	2,000
Cleveland		—	350	600	1,400
Chicago			—	300	1,000
St. Louis				—	850
Denver					—

6. Supuestos básicos que debe seguir:
   - El valor terminal (dentro de 10 años) de la nueva inversión será de 50% del costo de planta, equipo y terreno.
   - La tasa impositiva es de 40%.
   - Se usa depreciación en línea recta con todos los activos a lo largo de una vida útil de 10 años.
   - R.U. Reddie es una compañía con capital 100% propio, que se financia por completo con la venta de sus acciones y tiene un costo promedio ponderado de capital (WACC, del inglés, *weighted average cost of capital*) de 11%.
   - La capacidad de producción de la nueva planta durante el primer año será de 500 (000) unidades.
   - La capacidad de producción de la nueva planta de ahí en adelante será de 900 (000) unidades.
   - El costo de los bienes vendidos (COGS, del inglés *cost of goods sold*) es igual a los costos variables de producción más los costos totales de transporte.
   - Los costos de transportar el producto de una planta a su propio almacén son iguales a cero; sin embargo, aplican costos de producción.
7. Los gerentes de operaciones y logística de R.U. Reddie determinaron el plan de embarques y el costo de los bienes

TABLA 11.8 Datos de localización para R.U. Reddie

Ciudad	Demanda más probable para el primer año[1]	Demanda más probable después de los años 2–10[1]	Costos corrientes, edificio y equipo[1,2]	Costos fijos anuales (gastos de venta, generales y administrativos)[1,3]	Costos variables de producción por unidad	Terreno[1]
Boston	80	140	$9,500	$600	$3.80	$500
Cleveland	200	260	7,700	300	3.00	400
Chicago	370	430	8,600	400	3.25	600
St. Louis	440	500				
Denver	610	670				

[1]Las cifras se expresan en millares.

[2]Valor neto en libros de planta y equipo con vida depreciable remanente de 10 años.

[3]Los costos fijos anuales no incluyen la depreciación de planta y equipo.

vendidos para la opción de *no* construir una nueva planta y simplemente utilizar las capacidades existentes al máximo (solución del statu quo):

Año 1	**COGS = $4,692,000**
Boston a Boston	80
Boston a St. Louis	320
Cleveland a Chicago	80
Cleveland a Cleveland	200
Cleveland a St. Louis	120
Chicago a Chicago	290
Chicago a Denver	210
Años 2–10	**COGS = $4,554,000**
Boston a Boston	140
Boston a St. Louis	260
Cleveland a Cleveland	260
Cleveland a St. Louis	140
Chicago a Chicago	430
Chicago a St. Louis	70

PREGUNTAS

Se le ha pedido a su equipo que determine si R.U. Reddie debe construir una nueva planta y de ser así, dónde deberá estar localizada. Su informe debe constar de seis partes:

1. Un memorando de su equipo a R.U. Reddie en el que indique su recomendación y un breve resumen de la información de respaldo.
2. Modelar la decisión de localización como un modelo lineal. La función objetivo debe ser minimizar los costos variables totales (costos de producción más costos de transporte). Las variables deben ser la cantidad por embarcar de cada una de las plantas (incluida una de las alternativas para la nueva planta) a cada uno de los almacenes. Debe tener 20 variables en total (cuatro plantas y cinco almacenes). También debe tener nueve restricciones (cuatro restricciones de capacidad en las plantas y cinco restricciones de demanda en los almacenes). Consulte las sugerencias que se presentan en el apéndice. Necesitará dos modelos: uno para Denver y otro para Saint Louis.
3. Use el *Solver* de programación lineal o el *Solver* del método de transporte en OM Explorer, o una capacidad similar en POM para Windows, para obtener el plan de distribución óptimo para cada alternativa (es decir, Denver y Saint Louis).
4. Calcule el valor presente neto de cada alternativa. Use los resultados de los modelos lineales de los COGS de cada alternativa. (*Sugerencia:* el análisis se simplificará si piensa en términos de flujos de efectivo incrementales). Cree una hoja de cálculo fácil de leer para cada alternativa.
5. Realice un análisis de sensibilidad de los factores cuantitativos mencionados en el caso: los errores de pronóstico (generalizados y por el desplazamiento del mercado), los errores en el estimado de los COGS, y los errores en los estimados de lo costos fijos. Trabaje con cada factor de manera independiente de los demás y use las proyecciones “más probables” como caso de base. Resuma los resultados en una tabla.
6. Use el análisis de la pregunta 5 para identificar las variables cuantitativas fundamentales que determinan la superioridad de una alternativa sobre la otra. Racionalice su recomendación final a la luz de todas las consideraciones que R.U. Reddie debe hacer.

Apéndice

A continuación se presentan algunas sugerencias para el modelo.

1. La restricción de capacidad de Boston sería la siguiente:

   $$1\text{B-B} + 1\text{B-CL} + 1\text{B-CH} + 1\text{B-D} + 1\text{B-SL} \leq 400$$

   La variable B-CH significa Boston a Chicago en este ejemplo. Necesitará un total de cuatro restricciones de capacidad, una por cada uno de los sitios existentes y una para el sitio alternativo que está evaluando. Recuerde que el nuevo sitio tendrá un límite de capacidad de 500 en el primer año y 900 en el segundo.
2. La restricción de demanda de Boston sería la siguiente:

   $$1\text{B-B} + 1\text{CL-B} + 1\text{CH-B} + 1\text{D-B} = 140$$

   En este ejemplo se presenta la alternativa de localización de Denver (D-B representa el número de unidades producidas en Denver y enviadas a Boston). Necesitará un total de cinco restricciones de demanda, una por cada localización de almacén. Observe que las restricciones de demanda tienen signos de igual para indicar que exactamente esa cantidad debe recibirse en cada almacén.
3. Defina sus variables en “miles de unidades enviadas”, y omita los tres ceros después de cada valor de demanda y capacidad. Luego recuerde multiplicar las decisiones finales y costos variables totales por mil después de obtener la solución del modelo.
4. Debido a los cambios en capacidad y demanda del año 1 al año 2, tendrá que ejecutar el modelo dos veces, una por cada localización, para obtener los datos necesarios. También ejecutará el modelo y las hojas de cálculo en múltiples ocasiones para responder a la pregunta 5 del informe.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAndel, T., "Site Selection Tools Dig Data", *Transportation & Distribution*, volumen 37, número 6, 1996, pp. 77–81.

Bartness, A. D., "The Plant Location Puzzle", *Harvard Business Review*, marzo-abril de 1994, pp. 20–30.

"BMW Announces Its Plans for a Plant in South Carolina", *Wall Street Journal*, 24 de junio de 1992, p. B2.

Chittum, Ryan, "Location, Location, and Technology: Where to Put That New Store? Site-Selection Software May Be Able to Help", *Wall Street Journal,* 18 de julio de 2005, p. R7.

Cook, David P., Chon-Huat Goh y Chen H. Chung, "Service Typologies: A State of the Art Survey", *Production and Operations Management*, volumen 8, número 3, 1999, pp. 318–338.

Cook, Thomas M. y Robert A. Russell, *Introduction to Management Sciences*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1993.

DeForest, M. E., "Thinking of a Plant in Mexico?", *The Academy of Management Executive*, volumen 8, número 1, 1994, pp. 33–40.

"Doing Well by Doing Good", *The Economist*, 22 de abril de 2000, pp. 65–67.

Drezner, Z., *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, Secaucus, NJ, Springer-Verlag, 1995.

Ferdows, Kasra, "Making the Most of Foreign Factories", *Fortune,* marzo-abril de 1997, pp. 73–88.

Galuszka, P., "The South Shall Rise Again", *Chief Executive*, noviembre de 2004, pp. 50–54.

"How Legend Lives Up to Its Name", *Business Week,* 15 de febrero de 1999, pp. 75–78.

Kuehn, Alfred A. y Michael J. Hamburger, "A Heuristic Program for Locating Warehouses", *Management Science*, volumen 9, número 4, 1963, pp. 643–666.

"Location Analysis Tools Help Starbucks Brew Up New Ideas", *Business Geographics*, www.geoplace.com.

Love, Robert F., James G. Morris y George O. Weslowsky, *Facilities Location: Models and Methods*, Nueva York, North-Holland, 1988.

Lovelock, Christopher H. y George S, Yip, "Developing Global Strategies for Service Businesses", *California Management Review*, volumen 38, número 2, 1996, pp. 64–86.

"Manager's Journal: Why BMW Cruised into Spartanburg", *Wall Street Journal*, 6 de julio de 1992, p. A10.

"MapInfo Delivers Location Intelligence for Marco's Pizza", *Directions Magazine,* 14 de diciembre de 2004, www.directionsmag.com/press.releases/?duty=Show&id=10790.

Porter, Michael E., "The Competitive Advantage of Nations", *Harvard Business Review,* marzo-abril de 1990, pp. 73–93.

"Power System's Relocation to Atlanta Is Official", *The Business Review*, 9 de febrero de 2001.

Roth, Aleda, "The Second Generation of Quality: Global Supply-Chain Integration in Japan and the United States", *The Quality Yearbook: 1998 Edition*, J. W. Cortada y J. A. Woods, editores, Nueva York, McGraw-Hill, 1998.

Rubinstein, Ed, "Chain Chart Their Course of Actions with Geographic Information Systems", *Nation's Restaurant News*, volumen 32, número 6, 1998, p. 49.

Schmenner, Roger W., *Making Business Location Decisions*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1982.

"The Science of Site Selection", *National Real Estate Investor*, 11 de octubre de 2002.

Vishwanath, Vijay y David Hardling, "The Starbucks Effect", *Harvard Business Review,* marzo-abril de 2000, pp. 17–18.

12

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Identificar las diferencias entre los distintos tipos de inventario y cómo administrar la cantidad de elementos que los forman.
2. Definir los costos críticos del inventario y su importancia para el éxito financiero.
3. Definir los factores clave que determinan la elección correcta de un sistema de inventario.
4. Describir los equilibrios entre costo y servicio que deben establecerse al tomar decisiones sobre el inventario.
5. Calcular la cantidad económica del pedido y aplicarla a diversas situaciones.
6. Formular políticas aplicables a los sistemas de control de inventario, tanto de revisión continua como de revisión periódica.



La tecnología más avanzada, como las nuevas etiquetas de identificación por radiofrecuencia, contribuye a mover con eficiencia la mercancía a través de los centros de distribución de Wal-Mart.

CAPÍTULO 12

Administración de inventarios

ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN WAL-MART

*¿Quiere comprar repuestos de hojas de afeitar? ¿Una impresora? ¿Surtir su botiquín de primeros auxilios? ¿Comida para perro? ¿Fijador en aerosol para el cabello? De ser así, es natural que espere que la tienda donde usted compra tenga todo lo que necesita. Sin embargo, asegurar que los anaqueles estén abastecidos con decenas de miles de productos no es nada fácil para los gerentes de inventario de Wal-Mart, que tiene 1,276 tiendas Wal-Mart, 1,838 Supercentros, 556 SAM'S CLUBES y 92 Mercados de barrio en Estados Unidos, así como 1,617 tiendas más en otros nueve países. Ya se imaginará que en una operación así de grande, algunas cosas llegar a extraviarse. Linda Dillman, CIO (*Chief Information Officer*, Directora de Información) de Wal-Mart, relata la anécdota del fijador en aerosol para el cabello que se perdió en una de las tiendas. Había necesidad de reabastecer el anaquel con un tipo específico de fijador en aerosol; sin embargo, tardaron tres días para encontrar la caja en la trastienda. La mayoría de los clientes no cambian su marca preferida de fijador para el cabello, por lo que Wal-Mart perdió tres días de ventas de ese producto.*

Es crucial saber qué hay en existencias, en qué cantidad y dónde se guarda para administrar eficazmente los inventarios. Sin información precisa sobre los inventarios, las compañías pueden cometer errores graves si ordenan demasiado, muy poco, o envían los productos a un lugar equivocado. Las empresas pueden tener inventarios grandes y, pese a ello, sufrir desabasto de productos porque tienen demasiado inventario de ciertos productos y muy poco de otros. No hay duda de que Wal-Mart, con inventarios cuyo valor asciende a más de 29,000 millones de dólares, tiene plena conciencia de los posibles beneficios que puede obtener de una mejor administración de inventarios y constantemente está experimentando formas de reducir la inversión en éstos. Por ejemplo, Wal-Mart entiende que la administración eficaz de los inventarios debe incluir a toda la cadena



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

de suministro. La empresa está implementando la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID, del inglés radio frequency identification*) en su cadena de suministro. Los chips de RFID con pequeñas antenas se fijan en las cajas o tarimas de carga de un producto. Cuando el chip pasa cerca de un "lector", se activa y su código único de identificación del producto se transmite a un sistema de control de inventario. Los lectores empleados por Wal-Mart tienen un rango promedio de 4.6 metros. Los lectores de RFID instalados en las puertas de las plataformas de carga automáticamente avisan a los equipos de operaciones de Wal-Mart y a sus proveedores cuándo llega un embarque a un edificio, trátese de un centro de distribución o una tienda. Wal-Mart usa los datos para decidir cuándo llevar mercancía adicional a los anaqueles de las tiendas y calcular si una tienda ha ordenado demasiado de un producto (porque supervisa cuánto tiempo pasa una caja de producto en el almacén antes de que se vacíe su contenido) o si hay demasiada mercancía inactiva en la cadena de suministro (por ejemplo, si el centro de distribución no despacha la caja en días). La mejor disponibilidad de la mercancía redunda en un mayor beneficio para el consumidor.*

El potencial de esta tecnología es asombroso; sin embargo, aún se encuentra en sus primeras etapas y no se puede aplicar a la administración de los inventarios en la cadena de suministro. Hace falta mucho desarrollo tecnológico para que los beneficios se hagan verdaderamente palpables. No obstante, parece que Wal-Mart podría haber resuelto el problema del fijador en aerosol faltante con esta tecnología. Con un lector manual de RFID, se podría haber encontrado la caja faltante en cuestión de minutos.

Fuentes: Laurie Sullivan, "Wal-Mart's Way", Informationweek.com, 27 de septiembre de 2004, pp. 36-50; Gus Whitcomb y Christi Gallagher, "Wal-Mart Begins Roll-Out of Electronic Product Codes in Dallas/Fort Worth Area", www.walmartstores.com, 30 de abril de 2004, e Investor Information, 2005 Financial Reports.

administración de inventarios
La planificación y control de los inventarios para cumplir las prioridades competitivas de la organización.

La **administración de inventarios,** es decir, la planificación y control de los inventarios para cumplir las prioridades competitivas de la organización, es un motivo importante de preocupación para todos los gerentes de todo tipo de empresas. La administración eficaz de los inventarios es esencial para realizar el pleno potencial de toda cadena de valor. Para las compañías que operan con márgenes de utilidad relativamente bajos, la mala administración de los inventarios puede perjudicar gravemente sus negocios. El desafío no radica en reducir los inventarios a su mínima expresión para abatir los costos, ni en tener inventario en exceso para satisfacer todas las demandas, sino en mantener la cantidad adecuada para que la empresa alcance sus prioridades competitivas de la forma más eficiente posible. Este tipo de eficiencia sólo puede darse si la cantidad correcta de inventario fluye a través de la cadena de valor, que abarca a los proveedores, la empresa, los almacenes o centros de distribución y los clientes. Estas decisiones fueron tan importantes para Wal-Mart que decidió utilizar la tecnología para mejorar los flujos de información en la cadena de suministro.

La administración de inventarios es un proceso que requiere información sobre las demandas esperadas, las cantidades de inventario disponibles y en proceso de pedido de todos los artículos que almacena la empresa en todas sus instalaciones y el momento y tamaño indicados de las cantidades de reorden. El proceso de administración de inventarios puede analizarse y sus capacidades se pueden medir con respecto a las prioridades competitivas de la empresa; por ejemplo, lograr operaciones de bajo costo (¿cuánto del proceso de administración de inventario debe automatizarse?) o mantener calidad consistente (¿cómo se pueden reducir al mínimo los errores relacionados con las cantidades disponibles y los pronósticos de la demanda?). Este capítulo se centra en los aspectos de toma de decisión del proceso. Comienza con una reseña general del impacto que la administración de inventarios produce en la organización y luego se analizan los conceptos básicos de la administración de inventarios en todo tipo de empresas. Una sección importante del capítulo se dedica a los sistemas de control de inventario más apropiados para la venta al detalle y distribución.

ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN LA ORGANIZACIÓN

Los inventarios son importantes para todo tipo de organizaciones y sus empleados. Los inventarios afectan en gran medida las operaciones cotidianas porque deben contarse, pagarse, usarse en las operaciones, usarse para satisfacer a los clientes y administrarse. Los inventarios requieren inversión de fondos, lo mismo que la compra de una máquina nueva. El dinero invertido en el inventario no está disponible para invertirlo en otras cosas; por tanto, los inventarios representan una sangría de los flujos de efectivo de una organización. No obstante, las empresas entienden que la

disponibilidad de los productos es un punto clave de las ventas en muchos mercados y absolutamente crítica en muchos más.

Entonces, ¿el inventario es una bendición o una maldición? Desde luego, demasiado inventario disponible reduce la rentabilidad, y demasiado poco daña la confianza del cliente. Por lo tanto, la administración de inventarios implica sacrificar ciertas cosas por otras. Vamos a descubrir cómo las compañías pueden administrar con eficacia los inventarios en toda la organización.

> CONCEPTOS BÁSICOS DE INVENTARIO <

El inventario se crea cuando el volumen de materiales, partes o bienes terminados que se reciben es mayor que el volumen de los mismos que se distribuye; el inventario se agota cuando la distribución es mayor que la recepción de materiales. En esta sección, se identifican las presiones asociadas con mantener inventarios altos o bajos y se definen los diferentes tipos de inventario. A continuación, se explican las tácticas que pueden usarse para reducir los inventarios cuando corresponda, se identifican los equilibrios que deben establecerse cuando se toman decisiones sobre la colocación de inventarios y se expone cómo identificar los elementos de inventario que requieren más atención.

PRESIONES PARA MANTENER INVENTARIOS BAJOS

La labor del gerente de inventario consiste en equilibrar las ventajas y desventajas tanto de los inventarios altos como bajos y encontrar el justo medio entre los dos niveles. La principal razón para tener inventarios bajos es que el inventario representa una inversión monetaria temporal. Como tal, la empresa incurre en un costo de oportunidad, que aquí denominamos costo de capital, originado por el dinero que está inmovilizado en el inventario y que podría usarse para otros propósitos. El **costo por mantenimiento de inventario** (o costo de manejo) es la suma del costo del capital más los costos variables que se pagan por tener artículos a la mano, como los costos de almacenamiento y manejo y los impuestos, seguros y mermas. Cuando esos componentes cambian según el nivel del inventario, lo mismo sucede con el costo de mantenerlo.

Generalmente, las compañías expresan el costo por mantenimiento de inventario de un artículo, por periodo, como un porcentaje de su valor. El costo anual de mantener una unidad en inventario fluctúa normalmente entre 15 y 35% de su valor.[1] Suponga que el costo por mantenimiento de inventario de una empresa es de 20%. Si el valor promedio del inventario total equivale al 20% de las ventas, el costo promedio anual por mantenimiento de inventario será de 4% [0.20(0.20)] del total de las ventas. Este costo es considerable en términos de los márgenes de utilidad bruta, la cual a menudo es inferior a 10%. Así, los componentes del costo por mantenimiento de inventario crean presiones para mantener los inventarios bajos.

Costo de capital El costo de capital es el costo de oportunidad de invertir en un activo en relación con el rendimiento esperado de los activos que tienen riesgo similar. El inventario es un activo; en consecuencia, se debe usar una medida del costo que refleje adecuadamente el método de la empresa para financiar sus activos. La mayoría de las empresas usan el *costo promedio ponderado de capital* (WACC, del inglés, *weighted average cost of capital*), que es el promedio del rendimiento requerido del capital en acciones de la empresa y la tasa de interés sobre su deuda, ponderado por la proporción de capital y deuda en su portafolio. Por lo general, el costo de capital es el componente más grande del costo por mantenimiento de inventario, ya que llega a ser hasta de 15%, dependiendo del portafolio de capitalización particular de la empresa. Típicamente, las compañías actualizan el WACC anualmente porque se utiliza para tomar muchas decisiones financieras.

Costos de almacenamiento y manejo El inventario ocupa espacio y tiene que ser acarreado para entrar o salir del almacén. Los costos de almacenamiento y manejo se generan cuando una empresa alquila espacio, ya sea a corto o largo plazo. También se incurre en un costo cuando la compañía podría usar productivamente el espacio que dedica al almacenamiento para otros propósitos.

Impuestos, seguros y mermas Se pagan más impuestos cuando los inventarios son altos al final del año, y el costo de asegurar los inventarios aumenta también. Las mermas se presentan en tres formas. La primera, el *robo* o hurto de inventario por clientes o empleados, que en algunas empresas representa un porcentaje significativo de las ventas. La segunda forma de merma, llamada *obsolescencia,* se presenta cuando el inventario no puede usarse o venderse a su valor total, a causa de cambios de modelo, modificaciones de ingeniería o descensos inesperados de la demanda. La obsolescencia representa un gasto fuerte en el comercio de ropa al detalle, en el cual se ofrecen con frecuencia descuentos drásticos sobre muchas prendas estacionales al final de la temporada. Por último, el *deterioro* a causa de la descomposición física o daños en la mercancía

[1]Stephen G. Timme y Christine Williams-Timme, "The Real Cost of Holding Inventory", *Supply Chain Management Review,* julio-agosto de 2003, pp. 30-37. Este artículo presenta un análisis detallado del cálculo del costo ponderado de capital y las implicaciones de subestimar el costo por mantenimiento de inventario.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

costo por mantenimiento de inventario
La suma del costo del capital más los costos variables que se pagan por tener artículos a la mano, como los costos de almacenamiento y manejo y los impuestos, seguros y mermas.

da por resultado una pérdida de valor. Por ejemplo, los alimentos y bebidas pierden valor e incluso puede ser necesario desecharlos cuando su fecha de caducidad ha pasado. Cuando la tasa de deterioro es alta, la acumulación de grandes inventarios suele no ser aconsejable.

PRESIONES PARA MANTENER INVENTARIOS ALTOS

Dados los costos por mantenimiento de inventario, ¿por qué no eliminar el inventario por completo? Examinemos brevemente las presiones relacionadas con el mantenimiento de inventario.

Servicio al cliente La creación de inventarios puede acelerar las entregas y mejorar la puntualidad en el reparto de mercancías. Los niveles altos de inventario reducen las posibilidades de que se produzcan desabastos y pedidos aplazados, que son dos importantes motivos de preocupación de los vendedores al detalle y mayoristas. Un desabasto se presenta cuando un artículo que normalmente se tiene en inventario no está disponible para satisfacer la demanda en el momento en que ésta se presenta, lo cual se traduce en la pérdida de una venta. Un pedido aplazado es el pedido de un cliente que no es posible atender en la fecha prometida o solicitada, pero que se surte algún tiempo después. Es posible que los clientes estén dispuestos a esperar hasta que pueda atenderse su pedido, pero la próxima vez preferirán buscar a otro proveedor. En algunas ocasiones, los clientes reciben descuentos como compensación por las molestias que implica dicha espera.

costo por hacer pedidos
El costo de preparar una orden de compra para un proveedor, o una orden de producción en el caso de una fábrica o taller.

Costo por hacer pedidos Cada vez que una empresa coloca un nuevo pedido, incurre en un **costo por hacer pedidos,** esto es, el costo de preparar una orden de compra para un proveedor, o una orden de producción en el caso de una fábrica o taller. Cuando se trata de un mismo artículo, el costo por hacer pedidos es el mismo, independientemente del tamaño del pedido: el encargado de compras debe destinar el tiempo necesario a la tarea de decidir la cantidad que solicitará en el pedido y, tal vez, para seleccionar un proveedor y negociar las condiciones de la operación. También se requiere tiempo para preparar la documentación, realizar el seguimiento y recibir la mercancía solicitada. Cuando se trata de una orden de producción para un producto manufacturado, frecuentemente es necesario que dicha orden vaya acompañada de un proyecto general e instrucciones sobre la ruta a seguir. Sin embargo, Internet agiliza el proceso de colocar pedidos y reduce los costos respectivos.

costo de preparación
El costo que implica reajustar una máquina para que fabrique un componente o artículo diferente del que ha fabricado anteriormente.

Costo de preparación El costo que implica reajustar una máquina para que fabrique un componente o artículo diferente del que ha fabricado anteriormente se conoce como **costo de preparación**. Éste incluye la mano de obra y el tiempo requeridos para efectuar las modificaciones, la limpieza y, a veces, la instalación de nuevas herramientas o equipo. Los costos del material desperdiciado o de las operaciones de rectificación son notablemente más altos al principio de las partidas de producción. El costo de preparación también es independiente del tamaño del pedido, lo cual crea ciertas presiones para fabricar u ordenar una provisión grande de los artículos y mantenerlos en inventario, en lugar de pedir lotes pequeños.

Utilización de mano de obra y equipo Mediante la creación de más inventario, la gerencia puede incrementar la productividad de la mano de obra y la utilización de las instalaciones en tres formas. Primera, las órdenes de producción más grandes y menos frecuentes reducen el número de preparaciones improductivas, las cuales no aportan valor alguno al producto o servicio. Segunda, al mantener un inventario se reducen las posibilidades de tener que efectuar reprogramaciones costosas de las órdenes de producción porque los componentes necesarios para elaborar el producto no están disponibles en inventario. Tercera, la existencia de un inventario mejora la utilización de los recursos porque estabiliza la tasa de producción cuando la demanda es cíclica o estacional. La empresa usa el inventario acumulado durante los periodos de poco movimiento para atender la demanda adicional de las temporadas pico, y eso minimiza la necesidad de organizar turnos de trabajo suplementarios, efectuar más contrataciones y despidos, pagar tiempo extra y adquirir equipo adicional.

Costo de transporte Algunas veces, el costo del transporte saliente puede reducirse aumentando los niveles de inventario. Tener inventario disponible permite realizar más embarques con cargas completas y minimiza la necesidad de acelerar los embarques utilizando otros medios de transporte más costosos. La *colocación hacia delante* del inventario también puede reducir el costo del transporte saliente, aun cuando el efecto de *centralización de inventarios* disminuye y se requiere más inventario. El costo del transporte entrante también puede reducirse creando un inventario mayor. A veces se hacen pedidos de varios tipos de artículos al mismo proveedor. Si esos pedidos se combinan y se hacen al mismo tiempo, es posible obtener tarifas de descuento, lo cual abate los costos de transporte y materias primas.

descuento por cantidad
Reducción del precio unitario cuando el pedido es suficientemente grande.

Pagos a proveedores Frecuentemente, una compañía puede reducir el total de los pagos que efectúa a sus proveedores si es capaz de soportar niveles de inventario más altos. Suponga que una empresa se ha enterado de que uno de sus proveedores clave está a punto de elevar sus precios. A dicha empresa le resultaría más económico pedir una cantidad mayor que de costumbre (lo cual sería equivalente a aplazar el incremento de precio), a pesar de que su inventario se incrementara temporalmente. Asimismo, una compañía puede aprovechar los descuentos por cantidad. Un **descuento por cantidad**, en el cual el precio unitario disminuye cuando el pedido es suficientemente grande,

es en realidad un incentivo para ordenar cantidades mayores de mercancía. El suplemento D, "Modelos especiales de inventario" muestra cómo determinar las cantidades de pedido en una situación así.



La administración de inventarios comienza por saber cuánto inventario hay disponible. Aquí, una empleada de una tienda usa un escáner de mano para verificar el inventario en los anaqueles del supermercado.

TIPOS DE INVENTARIO

Otro ángulo para estudiar los inventarios es clasificarlos según la forma en que se crearon. En este contexto, existen cuatro tipos de inventarios: (1) de ciclo; (2) de seguridad; (3) de previsión, y (4) en tránsito. Éstos no pueden identificarse por sus rasgos físicos; es decir que al mirar una pila de adminículos, el administrador del inventario no distingue cuáles pertenecen a un inventario de ciclo y cuáles a un inventario en tránsito. Sin embargo, en términos conceptuales, cada uno de esos cuatro tipos tiene una gestación enteramente diferente. Una vez que comprenda esas diferencias, podrá recomendar distintas formas de proceder para reducir inventarios, de las cuales se hablará en la siguiente sección.

Inventario de ciclo La porción del inventario total que varía en forma directamente proporcional al tamaño del lote se conoce como **inventario de ciclo**. La frecuencia con que deben hacerse los pedidos y la cantidad de los mismos recibe el nombre de **dimensionamiento del lote**. En estos casos aplican dos principios:

1. El tamaño del lote, Q, varía en forma directamente proporcional al tiempo transcurrido (o ciclo) entre los pedidos. Si se hace un pedido cada cinco semanas, el tamaño promedio del lote deberá ser igual a la demanda correspondiente a cinco semanas.
2. Cuanto más tiempo transcurra entre dos pedidos sucesivos de un artículo determinado, tanto mayor tendrá que ser el inventario de ciclo.

Al principio del intervalo, el inventario de ciclo se encuentra en su punto máximo o sea, Q. Al final del intervalo, inmediatamente antes de la llegada de un nuevo lote, el inventario de ciclo baja a su nivel mínimo, es decir, a 0. El inventario promedio de ciclo es el promedio de esos dos valores extremos:

$$\text{Inventario promedio de ciclo} = \frac{Q+0}{2} = \frac{Q}{2}$$

Esta fórmula es exacta solamente cuando la tasa de demanda es constante y uniforme. Sin embargo, incluso cuando las tasas de demanda no son constantes, proporciona una estimación razonablemente satisfactoria. Otros factores, además de la tasa de demanda (por ejemplo, las pérdidas por desperdicio de material), también pueden ocasionar errores en las estimaciones cuando se emplea esta fórmula sencilla.

inventario de ciclo
La porción del inventario total que varía en forma directamente proporcional al tamaño del lote.

dimensionamiento del lote
La determinación de la frecuencia con que deben hacerse los pedidos de inventario y la cantidad de los mismos.

Inventario de seguridad Para evitar problemas en el servicio al cliente y ahorrarse los costos ocultos de no contar con los componentes necesarios, las compañías mantienen un acopio de seguridad. Ese **inventario de seguridad** es un excedente de inventario que protege contra la incertidumbre de la demanda, el tiempo de espera y los cambios en el abastecimiento. Los inventarios de seguridad son convenientes cuando los proveedores no entregan la cantidad deseada, en la fecha convenida y con una calidad aceptable, o cuando en la manufactura de los artículos se generan cantidades considerables de material de desperdicio o se requieren muchas rectificaciones. El inventario de seguridad garantiza que las operaciones no se interrumpirán cuando se presenten esos problemas, lo cual permitirá que las operaciones subsiguientes se lleven a cabo normalmente.

inventario de seguridad
Excedente de inventario que mantiene una empresa para protegerse contra la incertidumbre de la demanda, el tiempo de espera y los cambios en el abastecimiento.

Para crear un inventario de seguridad, las empresas hacen un pedido para que sea entregado en una fecha anterior a aquella en la cual se necesita habitualmente dicho artículo.[2] Por lo tanto, el pedido de reabastecimiento llega antes de tiempo, lo cual proporciona un "colchón" contra la incertidumbre. Por ejemplo, suponga que el tiempo promedio de entrega de un proveedor es de tres semanas, pero la empresa hace sus pedidos con cinco semanas de anticipación para tener mayor seguridad. Con esta política se crea un inventario de seguridad equivalente a una provisión para dos semanas (5 - 3).

Inventario de previsión El inventario que utilizan las empresas para absorber las irregularidades que se presentan a menudo en las tasas de demanda y oferta se conoce como *inventario de previsión*. Los patrones de demanda estacional predecibles se prestan para el uso del inventario de previsión. Las irregularidades en la demanda provocan que un fabricante acumule un inventario de previsión durante los periodos de baja demanda, a fin de no tener que incrementar demasiado sus niveles de producción cuando la demanda alcance sus puntos máximos. El inventario

[2]Cuando los pedidos se hacen a intervalos fijos, se sigue otro método para crear un inventario de seguridad. Cada nuevo pedido que se coloca es mayor que la cantidad que habitualmente se necesitará hasta la siguiente fecha de entrega.

inventario en tránsito

El inventario que se mueve de un punto a otro en el sistema de flujo de materiales.

de previsión también puede ser útil cuando los proveedores se ven amenazados por una huelga o tienen limitaciones graves de capacidad.

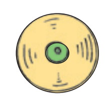
Inventario en tránsito En el sistema de flujo de materiales, el inventario que se mueve de un punto a otro recibe el nombre de **inventario en tránsito**. Los materiales se mueven de los proveedores a la planta, de una operación a la siguiente dentro de la fábrica, de la planta a un centro de distribución o cliente, y del centro de distribución a un comerciante detallista. El inventario en tránsito está constituido por los pedidos que se han colocado, pero que todavía no se han recibido. Por ejemplo, NUMMI, la empresa conjunta de General Motors y Toyota en California, usa partes producidas en el Medio Oeste de Estados Unidos. Los embarques llegan diariamente a la planta, pero el tiempo de espera del transporte requería un inventario en tránsito de partes a bordo de carros de ferrocarril recorriendo el trayecto desde el Medio Oeste. El inventario en tránsito entre dos puntos, ya sea para transporte o producción, puede medirse como la demanda promedio durante el tiempo de espera, $\bar{D}_L$, que es la demanda promedio del artículo por periodo (d) multiplicada por el número de periodos comprendidos dentro del tiempo de espera del artículo (L), para moverse entre los dos puntos, o sea:

$$\text{Inventario en tránsito} = \bar{D}_L = dL$$

Observe que el tamaño del lote no afecta directamente el nivel promedio del inventario en tránsito. Al incrementarse Q, el tamaño de cada pedido se incrementa, de modo que si un pedido que ya fue colocado aún no se ha recibido, habrá más inventario en tránsito en ese tiempo de espera. Sin embargo, ese incremento se anula por un decremento proporcional en el número de pedidos colocados por año. No obstante, el tamaño del lote puede afectar *indirectamente* el inventario en tránsito si al incrementar Q también aumenta el tiempo de espera. En este caso, $\bar{D}_L$, y por tanto el inventario en tránsito, se incrementarán.

La práctica administrativa 12.1 muestra cómo Amazon.com diseñó un sistema de inventario para mejorar el servicio al cliente.

EJEMPLO 12.1 Estimación de los niveles de inventario



TUTOR 12.1

El tutor 12.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la estimación de los niveles de inventario.

Una planta envía mensualmente taladros eléctricos a un mayorista, en lotes cuyo tamaño promedio es de 280 taladros. La demanda promedio del mayorista es de 70 taladros por semana, y el tiempo de espera de la planta es de tres semanas. El mayorista debe pagar el inventario en el momento en que la planta hace el envío. Si el mayorista está dispuesto a aumentar la cantidad de compra a 350 unidades, la planta le garantizará un tiempo de espera de dos semanas para entregar el producto. ¿Cuál es el efecto en los inventarios de ciclo y en tránsito?

SOLUCIÓN

Los inventarios actuales de ciclo y en tránsito son:

$$\text{Inventario de ciclo} = \frac{Q}{2} = \frac{280}{2} = 140 \text{ taladros}$$

$$\text{Inventario en tránsito} = \bar{D}_L = dL = (70 \text{ taladros/semana})(3 \text{ semanas}) = 210 \text{ taladros}$$

La figura 12.1 muestra los inventarios de ciclo y en tránsito si el mayorista acepta la nueva propuesta.

FIGURA 12.1

Estimación de los niveles de los inventarios de ciclo y en tránsito usando el tutor 12.1

1. Introduzca el tamaño de lote promedio, la demanda promedio durante un periodo y el número de periodos del tiempo de espera:

Tamaño de lote promedio	350
Demanda promedio	70
Tiempo de espera	2

2. Para calcular el inventario de ciclo, simplemente divida el tamaño de lote promedio entre 2. Para calcular el inventario en tránsito, multiplique la demanda promedio por el tiempo de espera:

Inventario de ciclo	175
Inventario en tránsito	140

Punto de decisión El efecto de la nueva propuesta sobre los inventarios de ciclo es incrementarlos en 35 unidades, o 25%. Sin embargo, la reducción en los inventarios en tránsito es de 70 unidades, o 33%. La propuesta reduciría la inversión total en los inventarios de ciclo y en tránsito. Además, es ventajoso tener tiempos de entrega más cortos porque el mayorista sólo tiene que comprometerse a realizar compras con dos semanas de anticipación, en lugar de tres.

TÁCTICAS PARA REDUCIR LOS INVENTARIOS

Los gerentes siempre están ansiosos por encontrar formas rentables de reducir el inventario. Más adelante en este capítulo se examinarán varias maneras de determinar el tamaño óptimo de un lote. En esta sección se hablará de algo más fundamental: las tácticas básicas (a las que llamaremos *palancas*) para reducir inventarios. Una palanca primaria es aquella que debe activarse cuando se desea reducir un inventario. Una palanca secundaria es aquella que reduce el costo de pena-

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 12.1 MEJORAMIENTO DEL SERVICIO AL CLIENTE POR MEDIO DE LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS EN AMAZON.COM

Amazon.com tuvo una difícil temporada decembrina en 1999, a causa, sobre todo, de los inventarios mal administrados y las operaciones caóticas de sus almacenes, lo que dio por resultado que una gran cantidad de productos se quedara sin vender. La mayoría de los clientes de Amazon estaban satisfechos, pero la compañía había comprado demasiado inventario, ¡incluida una provisión para 50 semanas de teléfonos de la Rana René! Desde entonces, Amazon ha modificado sus métodos. Por ejemplo, anteriormente almacenaba artículos como discos DVD y reproductores de DVD en diferentes estados, lo que complicaba reunir la mercancía para surtir los pedidos de un solo cliente. Ahora los artículos se reúnen en las instalaciones de embarque. Además, Amazon pronostica ahora la demanda por áreas del país. Las computadoras de mano Palm se pronostican por código postal y se envían los inventarios correspondientes al almacén que atiende esa área. Este método reduce el tiempo que se necesita para hacer llegar un producto al cliente.

Jeffrey Wilke, vicepresidente y gerente general de operaciones de Amazon, identificó cuatro maneras en que Amazon mejoró el servicio al cliente al administrar mejor sus inventarios.

- Aumentó su capacidad de almacenamiento de inmediato. Se agregaron casi 279,000 metros cuadrados de capacidad de almacenamiento en menos de un año, lo que permitió a Amazon acumular la cantidad adecuada de inventarios de ciclo, seguridad y previsión para atender a sus clientes.
- Introdujo tecnología de vanguardia de automatización y mecanización. Los almacenes de Amazon ahora son eficientes y suficientemente flexibles para mover los artículos en contenedores, tarimas de carga, o lotes de 1, con lo que se reducen los costos de manejo de mercancía.
- Relacionó la información de los pedidos con un archivo de clientes usando tecnología informática. Cuando un cliente coloca un pedido de un grupo de productos en particular, el sistema captura los datos y los agrega a una base de datos de compras anteriores de ese mismo cliente. Este proceso permite a Amazon pronosticar las compras futuras y adaptar la experiencia de compra que el cliente recibe.
- Duplicó el sistema en todos los centros de distribución donde fue posible. La combinación de capacidad, automatización y tecnología informática permitirá ahora a Amazon expandir la variedad de productos que ofrece gracias a sus nuevas asociaciones y alianzas. Mediante la duplicación del sistema, Amazon puede expandirse de manera modular a medida que se van añadiendo nuevos almacenes.

Amazon también cambió su estrategia de administración de inventarios: ahora usa una combinación de operaciones de almacén internas y subcontratadas. Por ejemplo, Amazon subcontrató la distribución de teléfonos móviles, computadoras y libros, excluyendo los que figuran en las listas de éxitos de librería. Los teléfonos móviles requieren brindar al cliente servicio especializado y de gran alcance, y las computadoras ocupan cantidades enormes de espacio de almacén. Otros artículos voluminosos y difíciles de manejar, como las aspiradoras, los procesadores de alimentos y las sierras de mesa, son también posibles candidatos para la subcontratación. Esta medida permite a Amazon concentrarse en lo que hace mejor. No obstante, puede resultar arriesgada porque pone la reputación de Amazon, ganada con tanto esfuerzo, en las manos de otros. Sin embargo, al reducir los costos y aumentar sus márgenes de utilidad mediante la mejor administración de los inventarios, Amazon espera trasladar algunos de los ahorros a sus clientes, aumentar el número de compradores y minimizar las desventajas que el nuevo sistema de inventario pueda tener.



Amazon.com ha mejorado espectacularmente sus sistemas de inventario en la última década, ya que aumentó su capacidad de almacén e introdujo la tecnología más avanzada de mecanización para enviar los productos y dar seguimiento a las necesidades de sus clientes. Aunque Amazon almacena muchos de los artículos que vende, ahora subcontrata otros artículos a almacenes independientes.

Fuentes: Nick Wingsfield, “Amazon Vows to Avoid Mess of 1999 Christmas Rush: Too Many Kermit Phones”, *Wall Street Journal,* 25 de septiembre de 2000, p. B1; “Q&A with Jeffrey Wilke”, *Business Week,* 1 de noviembre de 1999, www.ebiz.businessweek.com; Greg Sandoval, “How Lean Can Amazon Get?” *CNET News.com,* 19 de abril de 2002.

lización que implica aplicar la palanca primaria y, por principio de cuentas, la necesidad de tener el inventario.

Inventario de ciclo La palanca primaria para reducir el inventario de ciclo consiste simplemente en reducir el tamaño del lote. Sin embargo, el hecho de efectuar tal reducción en *Q*, sin realizar ningún otro cambio, puede ser devastador. Por ejemplo, los costos de preparación pueden dispararse. Si estos cambios ocurren, se pueden utilizar dos palancas secundarias:

1. Racionalizar los métodos para colocar pedidos y preparar las máquinas a fin de reducir los costos por hacer pedidos y los de preparación, y permitir que *Q* sea menor.
2. Incrementar la repetibilidad para suprimir la necesidad de realizar cambios o alteraciones. La **repetibilidad** es el grado hasta el cual se puede realizar el mismo trabajo otra vez. La repetibilidad puede incrementarse mediante una alta demanda del producto, el uso de la especialización, la asignación de recursos exclusivos a un producto, el uso de una misma parte en muchos productos diferentes, la *automatización flexible*, la aplicación del concepto de *un trabajador, múltiples máquinas*, o bien, la *tecnología de grupo*. Un mayor grado de repetibilidad puede justificar el uso de nuevos métodos de preparación, reducir los costos de transporte y lograr que los proveedores otorguen descuentos por cantidad.

repetibilidad
El grado hasta el cual se puede realizar el mismo trabajo otra vez.

Inventario de seguridad La palanca primaria para reducir el inventario de seguridad consiste en hacer los pedidos en una fecha más próxima a aquella en la cual deberán recibirse. Sin embargo, es posible que este método dé lugar a un servicio inaceptable para el cliente, a menos que la incertidumbre de la demanda, la oferta y la entrega pueda minimizarse. En estas condiciones se pueden utilizar cuatro palancas secundarias:

1. Mejorar los pronósticos de demanda para que haya menos sorpresas en el comportamiento de los clientes. Tal vez incluso sea posible alentar a éstos a que pidan mercancía antes de que la necesiten.
2. Abreviar los tiempos de entrega de los artículos comprados o fabricados a fin de reducir la incertidumbre de la demanda. Por ejemplo, siempre que sea posible, habrá que seleccionar proveedores locales que ofrezcan tiempos de entrega cortos.
3. Reducir la incertidumbre de la oferta. Los proveedores pueden ser más fiables si los planes de producción se comparten con ellos. Las sorpresas a causa de rectificaciones o por desperdicios inesperados pueden ser menos frecuentes si se logra mejorar los procesos de manufactura. El mantenimiento preventivo minimiza los tiempos de inactividad inesperados a causa de fallas del equipo.
4. Depender más de amortiguadores de equipo y mano de obra, como los colchones de capacidad y la capacitación interdisciplinaria de los trabajadores. Estos amortiguadores son importantes para las empresas del sector de servicios, ya que, por lo general, les es imposible mantener inventarios de sus servicios.

Inventario de previsión La palanca primaria para reducir un inventario de previsión consiste simplemente en igualar la tasa de demanda con la tasa de producción. Las palancas secundarias se emplean para emparejar la demanda de los clientes en alguna de las siguientes formas:

1. Agregar nuevos productos con diferentes ciclos de demanda, de modo que un punto máximo en la demanda de un producto compense el punto bajo estacional de otro.
2. Organizar campañas de promoción de ventas fuera de temporada.
3. Ofrecer planes de precios de temporada.

Inventario en tránsito Un gerente de operaciones tiene control directo sobre el tiempo de espera, pero no sobre la tasa de demanda. Debido a que el inventario en tránsito es una función de la demanda durante el tiempo de espera, la palanca primaria consiste en reducir el tiempo de espera. Dos palancas secundarias pueden ayudar a los gerentes en la reducción de los tiempos de entrega:

1. Buscar proveedores que tengan mejor capacidad de respuesta y seleccionar nuevos transportistas para que se hagan cargo de los embarques entre las localidades en las que se almacenan los inventarios, o mejorar el manejo de materiales dentro de la planta. La adquisición de un sistema de computadoras podría eliminar los retrasos de la información entre el centro de distribución y el comercio detallista.
2. Disminuir el valor de *Q*, por lo menos en los casos en que el tiempo de espera depende del tamaño del lote. Los trabajos pequeños generalmente requieren menos tiempo para llevarse a cabo.

COLOCACIÓN DE INVENTARIOS

La ubicación de los inventarios de una empresa sustenta las prioridades competitivas. Se pueden mantener inventarios al nivel de materias primas, trabajo en proceso y bienes terminados. Los gerentes toman decisiones sobre la colocación de inventarios según la clasificación que se le da a un artículo: ya sea como un caso especial o estándar. Se conoce como **especial** aquel artículo que se fabrica por pedido o que si se compra, se compra por pedido. Solamente se pide la cantidad sufi-

especial
Artículo que se fabrica por pedido, o que si se compra, se compra por pedido.

ciente para atender la solicitud del cliente más reciente. Se conoce como artículo **estándar** aquel que se fabrica u ordena para mantenerlo en inventario y que normalmente está disponible cuando se solicita. Por ejemplo, los detallistas típicamente manejan artículos estándar y los mantienen en existencia en los anaqueles de las tiendas para satisfacer la demanda de los clientes. Así sucede en Wal-Mart o Marshall Field's, aunque de vez en cuando se pueden ordenar artículos que normalmente no se mantienen en inventario. Habrá que esperar un tiempo a que se realice la entrega si el artículo es de alguna especialidad. Las cafeterías estilo bufé ofrecen alimentos estándar entre los cuales los clientes pueden elegir para formar una comida. Por el contrario, un sastre trabaja con artículos especiales porque no podría conocer las medidas exactas o las preferencias de telas de un cliente hasta que el cliente llegara al establecimiento. En un restaurante elegante también se trabaja con artículos especiales, ya que no se puede preparar una comida específica sino hasta que el comensal ordena el platillo al camarero. Los ingredientes para prepararlo están disponibles, pero el plato en sí mismo se considera un artículo especial.

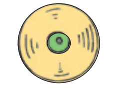
estándar
Artículo que se fabrica u ordena para mantenerlo en inventario y que normalmente está disponible cuando se solicita.

Mantener un alto nivel de inventario de bienes terminados permite a la empresa entregar con rapidez los artículos a los clientes, pero también requiere una cuantiosa inversión en inventario. La colocación del inventario de Shamrock Chemicals, una empresa de Newark, New Jersey, que fabrica materiales que se utilizan en las tintas para imprimir, ilustra este equilibrio. Shamrock puede enviar un producto el mismo día que el cliente hace el pedido. Sin embargo, en virtud de que los bienes terminados se consideran artículos estándar, y no especiales, Shamrock se ve obligado a mantener un inventario grande de bienes terminados. Mantener un inventario en el nivel de las materias primas reduciría el costo por mantenimiento de inventario, pero a costa de la respuesta rápida al cliente que le ha dado a Shamrock su ventaja competitiva. El destacado fabricante de libros y otros materiales impresos R.R. Donnelley ha seleccionado una estrategia opuesta, ya que coloca su inventario en una posición más atrasada, aproximándolo más al nivel de las materias primas (por ejemplo, en rollos de papel y tintas). La razón es que los productos que Donnelley produce (como este libro de texto) se fabrican por pedido y, en consecuencia, se consideran artículos especiales. Cada trabajo de impresión produce un producto único. Al colocar sus inventarios más cerca del nivel de las materias primas, Donnelley dispone de gran flexibilidad para satisfacer las diversas demandas de sus clientes.

IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS CRÍTICOS DEL INVENTARIO CON EL ANÁLISIS ABC

Una organización típica mantiene miles de artículos en inventario, pero sólo un pequeño porcentaje de ellos merecen la más cuidadosa atención y el mayor grado de control de la gerencia. El **análisis ABC** es el proceso que consiste en dividir los artículos en tres clases, de acuerdo con el valor de su consumo, de modo que los gerentes puedan concentrar su atención en los que tengan el valor monetario más alto. Este método es el equivalente de crear un *gráfico de Pareto*, excepto que se aplica a los inventarios en vez de a los errores en los procesos. Como se observa en la figura 12.2, los artículos clase A generalmente representan sólo cerca de 20% del total de artículos, pero les corresponde el 80% del valor de consumo. Los artículos clase B representan otro 30% del total, pero les corresponde únicamente el 15% del valor de consumo. Por último, el 50% de los artículos pertenecen a la clase C y representan apenas 5% del valor de consumo. El objetivo del análisis ABC es identificar los niveles de inventario de los artículos clase A para que la gerencia los controle cuidadosamente usando las palancas que acaban de describirse.

análisis ABC
El proceso que consiste en dividir los artículos en tres clases, de acuerdo con el valor de su consumo, de modo que los gerentes puedan concentrar su atención en los que tengan el valor monetario más alto.



TUTOR 12.2
El tutor 12.2 en el CD-ROM del estudiante presenta un ejemplo para practicar el análisis ABC.

Para empezar el análisis, se multiplica la tasa de demanda anual de un artículo por el valor monetario (costo) de una unidad para determinar el valor de consumo. Después de clasificar los

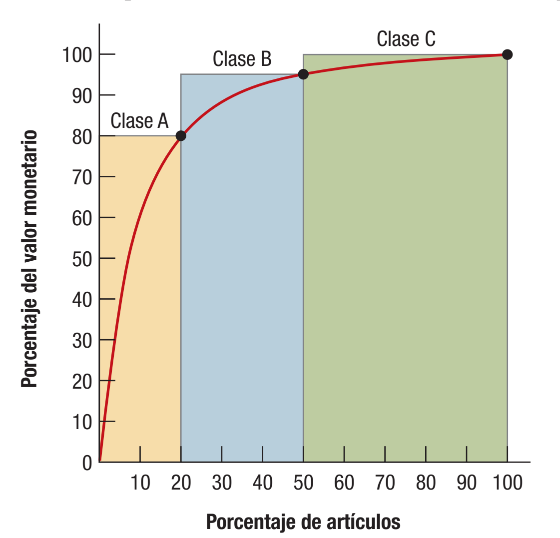


FIGURA 12.2
Gráfico típico de un análisis ABC

artículos con base en el valor de consumo y crear el gráfico de Pareto, el analista observa si se presentan cambios “naturales” en la pendiente. Las líneas divisorias que aparecen entre las clases en la figura 12.2 son inexactas. Los artículos clase A podrían representar más o menos de 20% de todos los artículos, pero normalmente les corresponde la parte mayoritaria del valor de consumo.

Un gerente se asegura de que los artículos clase A sean revisados con frecuencia para reducir el tamaño promedio del lote y mantener actualizados los registros de inventario. En contraste, los artículos clase B requieren un nivel intermedio de control. En el caso de los artículos clase C, es apropiado un control mucho menos estricto. El desabasto de un artículo clase C puede ser tan crucial como el de un artículo clase A, pero el costo por mantenimiento de inventario de los artículos clase C tiende a ser bajo. Estas características indican que se pueden tolerar niveles altos de inventario y que un inventario de seguridad más abundante; mayores tamaños de lote y tal vez hasta un sistema visual, del cual se hablará más adelante, pueden ser suficientes para los artículos clase C. Véase el problema resuelto 2 en el que se ilustra un ejemplo detallado de análisis ABC.

> CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO <

cantidad económica de pedido (EOQ)
El tamaño de lote que permite minimizar los costos totales anuales por mantenimiento de inventario de ciclo y hacer pedidos.

Recuerde que los gerentes trabajan bajo presiones contradictorias para mantener inventarios suficientemente bajos para evitar costos excesivos por mantenimiento de inventario, pero suficientemente altos para reducir los costos por hacer pedidos y los costos de preparación. Un buen punto de partida para equilibrar esas presiones antagónicas y determinar el mejor nivel del inventario de ciclo para un artículo consiste en calcular la **cantidad económica de pedido** (**EOQ**, del inglés *economic order quantity*); es decir, el tamaño de lote que permite minimizar los costos totales anuales por mantenimiento de inventario de ciclo y hacer pedidos. El método para determinar la EOQ se basa en las siguientes suposiciones:

1. La tasa de demanda del artículo es constante (por ejemplo, siempre es de 10 unidades diarias) y se conoce con certeza.
2. No existen restricciones para el tamaño de cada lote (por ejemplo, limitaciones de capacidad del camión o para el manejo de materiales).
3. Los dos únicos costos relevantes son el de mantenimiento de inventario y el costo fijo por lote, tanto de hacer pedidos como de preparación.
4. Las decisiones referentes a un artículo pueden tomarse independientemente de las decisiones correspondientes a los demás. En otras palabras, no se obtiene ventaja alguna al combinar varios pedidos que vayan dirigidos al mismo proveedor.
5. El tiempo de espera es constante (por ejemplo, siempre es de 14 días) y se conoce con certeza. La cantidad recibida es exactamente la que se pidió y las remesas llegan completas y no en partes.

La cantidad económica de pedido será óptima cuando se satisfacen las cinco suposiciones. En realidad, pocas situaciones son así de simples. Sin embargo, la EOQ constituye a menudo una aproximación razonable del tamaño de lote apropiado, aun cuando una o varias de las suposiciones no sean del todo aplicables. A continuación se presentan algunos lineamientos sobre cuándo usar o modificar la EOQ.[3]

- **No use la EOQ**
  - Si usa la estrategia de “fabricación por pedido” y el cliente especifica que el pedido completo debe entregarse en un solo embarque.
  - Si el tamaño del pedido está restringido por limitaciones de capacidad, como el tamaño de los hornos de la empresa, la cantidad de equipo de prueba, o el número de camiones de reparto.
- **Modifique la EOQ**
  - Si se otorgan descuentos considerables por cantidad cuando se ordenan lotes grandes.
  - Si el reabastecimiento del inventario no es instantáneo, lo que puede ocurrir si los artículos tienen que usarse o venderse en cuanto se terminan sin esperar a que todo el lote esté completo (véase el suplemento D, “Modelos especiales de inventario”, donde encontrará varias modificaciones útiles de la EOQ).
- **Use la EOQ**
  - Si sigue una estrategia de “fabricación para mantener en inventario” y el artículo tiene demanda relativamente estable.
  - Si se conocen los costos por mantenimiento de inventario, preparación o por hacer pedidos, y éstos son relativamente estables.

[3]Véase Alan R. Cannon y Richard E. Crandall, “The Way Things Never Were”, *APICS—The Performance Advantage*, enero de 2004, pp. 32-35, para una discusión más detallada de la EOQ, su importancia para los sistemas JIT y cuándo usar la EOQ.

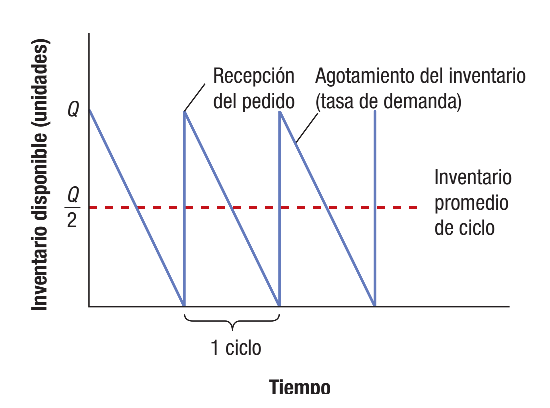


FIGURA 12.3

Niveles de inventario de ciclo

La EOQ nunca ha tenido la intención de ser una herramienta de optimización. No obstante, si se necesita determinar un tamaño de lote razonable, puede ser útil en muchas situaciones.

CÁLCULO DE LA EOQ

Para empezar, se formula el costo total correspondiente a cualquier tamaño de lote Q. A continuación, se obtiene la EOQ, que no es sino el Q con el cual se minimiza el costo total anual del inventario de ciclo. Finalmente, se describe la forma de convertir la EOQ en una medida complementaria, como el tiempo transcurrido entre pedidos.

Cuando las suposiciones de la EOQ se han satisfecho, el inventario de ciclo se comporta como muestra la figura 12.3. Un ciclo comienza con Q unidades en inventario, lo cual sucede en el momento en que se recibe un nuevo pedido. Durante el ciclo, se utiliza el inventario disponible a una tasa constante y, en vista de que la demanda se conoce con certeza y el tiempo de espera es constante, se puede pedir un nuevo lote calculando que el inventario se reduzca a 0 precisamente cuando se reciba ese nuevo lote. Puesto que el inventario varía uniformemente entre Q y 0, el inventario de ciclo promedio será igual a la mitad del tamaño del lote, Q.

El costo anual por mantenimiento de esta cantidad de inventario, que se incrementa linealmente con Q, como muestra la figura 12.4(a), es el siguiente:

Costo anual por mantenimiento de inventario =
(Inventario de ciclo promedio)(Costo por mantenimiento unitario)

El costo anual por hacer pedidos es:

Costo anual por hacer pedidos =
(Número de pedidos/año)(Costo por hacer pedidos o de preparación)

El número promedio de pedidos por año es igual a la demanda anual dividida entre Q. Por ejemplo, si es necesario pedir 1,200 unidades cada año y el tamaño promedio de lote es de 100 unidades, se harán 12 pedidos durante el año. El costo anual por hacer pedidos o de preparación disminuye en forma no lineal al aumentar Q, como se muestra en la figura 12.4(b), porque entonces se hacen menos pedidos.

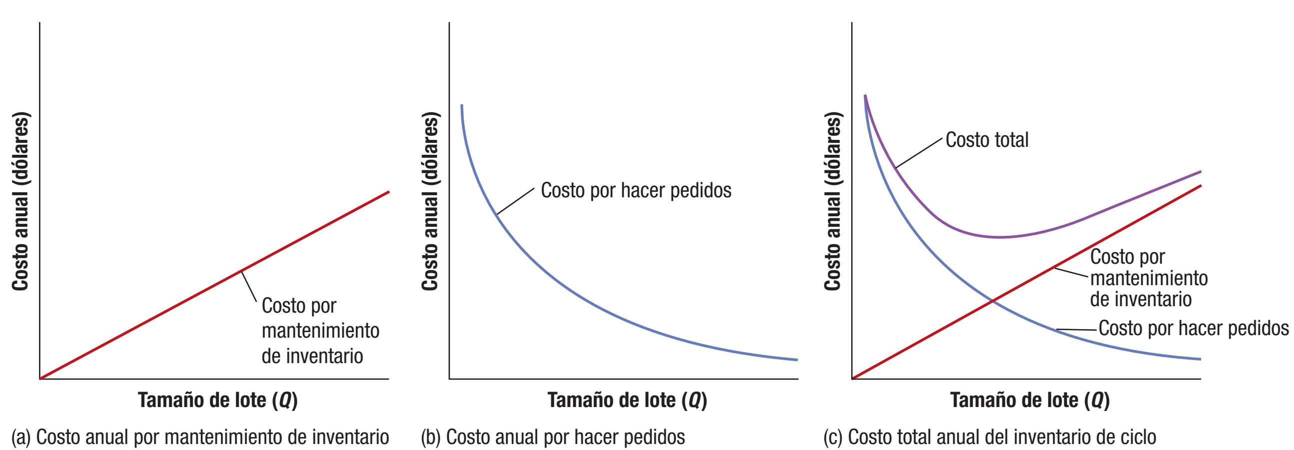


FIGURA 12.4 | Gráficos de costo anual por mantenimiento de inventario, costo anual por hacer pedidos y costo total anual

El costo total anual del inventario de ciclo,[4] como se muestra en el gráfico de la figura 12.4(c), es la suma de los dos componentes del costo:

Costo total = Costo anual por mantenimiento de inventario + Costo anual por hacer pedidos o de preparación[5]

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

donde

C = costo total anual del inventario del ciclo

Q = tamaño de lote, en unidades

H = costo de mantener una unidad en inventario durante un año; a menudo se expresa como un porcentaje del valor

D = demanda anual, en unidades por año

S = costo por hacer pedidos o preparar un lote, en dólares por lote

EJEMPLO 12.2 Cálculo del costo de una política de dimensionamiento del lote

Un museo de historia natural abrió una tienda de regalos hace dos años. La administración del inventario se ha convertido en un problema. La baja rotación del inventario está mermando los márgenes de utilidad y ha causado problemas con el flujo de efectivo.

Uno de los artículos que más se vende del surtido de recipientes que ofrece la tienda del museo es un comedero para pájaros. Cada semana se venden 18 unidades, y el proveedor cobra $60 por unidad. El costo de colocar un pedido con el proveedor es de $45. El costo anual por mantenimiento de inventario es igual a 25% del valor del comedero y el museo abre sus puertas 52 semanas al año. La gerencia seleccionó un tamaño de lote de 390 unidades para no tener que hacer nuevos pedidos con mucha frecuencia. ¿Cuál es el costo anual del inventario de ciclo de la política actual de usar un tamaño de lote de 390 unidades? ¿Sería mejor un lote de 468 unidades?

SOLUCIÓN

Para empezar, se calcula la demanda anual y el costo anual por mantenimiento de inventario en esta forma:

$$D = (18 \text{ unidades/semana})(52 \text{ semanas/año}) = 936 \text{ unidades}$$

$$H = 0.25(\$60/\text{unidad}) = \$15$$

El costo total anual del inventario de ciclo correspondiente a la política actual es:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

$$= \frac{390}{2}(\$15) + \frac{936}{390}(\$45) = \$2{,}925 + \$108 = \$3{,}033$$

El costo total anual del inventario de ciclo para el tamaño de lote alternativo es:

$$C = \frac{468}{2}(\$15) + \frac{936}{468}(\$45) = \$3{,}510 + \$90 = \$3{,}600$$

Punto de decisión El tamaño de lote de 468 unidades, que equivale al suministro de medio año, sería una opción más cara que la política actual. Los ahorros en los costos por hacer pedidos se anulan por completo con el aumento en los costos por mantenimiento de inventario. La gerencia debe usar la función de costo total anual del inventario de ciclo para explorar otras alternativas para el tamaño del lote.

La figura 12.5 muestra el impacto cuando se usan varios valores de Q en el caso del comedero para pájaros del ejemplo 12.2. Se evaluaron ocho tamaños de lote, además del actual. Se trazaron los gráficos de los costos por mantenimiento de inventario y hacer pedidos, pero la suma de ambos (la curva del costo total anual del inventario de ciclo) es la característica importante.El gráfico muestra que el mejor tamaño de lote, o EOQ, está en el punto más bajo de la curva del costo total

[4]En general, es conveniente (aunque no necesario) expresar el costo total sobre una base anual. Se puede seleccionar cualquier horizonte de tiempo, siempre que D y H abarquen el mismo periodo. Si el costo total se calcula mensualmente, D deberá ser la demanda mensual y H tendrá que ser el costo de mantener una unidad en inventario durante un mes.

[5]El número de pedidos que realmente se hacen en un año es siempre un número entero, aunque la fórmula permite el uso de valores fraccionarios. Sin embargo, no es necesario redondear porque lo que se calcula en este caso es el promedio de varios años. Es muy común que estos promedios se expresen con números no enteros.

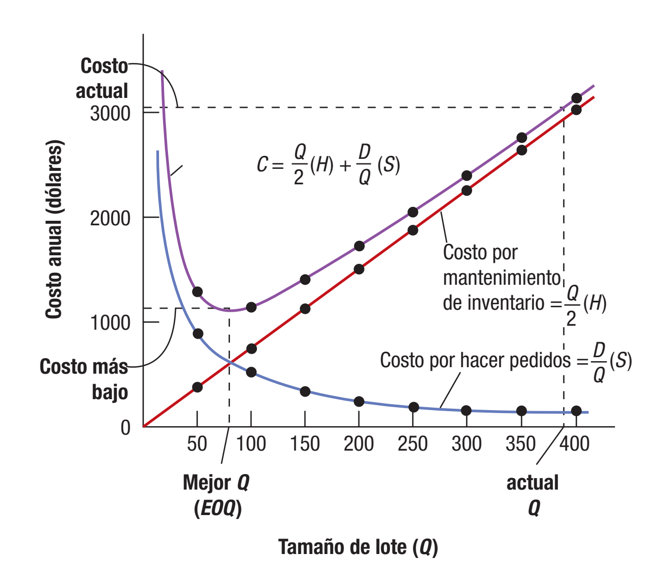


FIGURA 12.5

Función del costo total anual del inventario de ciclo del comedero para pájaros

anual, o sea, entre 50 y 100 unidades. Como es lógico, una reducción en la política actual sobre el tamaño del lote ($Q = 390$) puede producir ahorros significativos.

Un enfoque más eficiente es utilizar la fórmula de EOQ:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Por medio del cálculo se obtiene la fórmula de EOQ a partir de la función del costo total anual del inventario de ciclo. Se toma la primera derivada de la función del costo total anual del inventario de ciclo con respecto a Q, se iguala a 0 y se resuelve para Q. Como se aprecia en la figura 12.5, la EOQ es la cantidad de pedido con la cual el costo anual por mantenimiento de inventario es igual al costo anual por hacer pedidos. Aplicando estos conocimientos, también se puede obtener la fórmula de EOQ igualando las fórmulas del costo anual por hacer pedidos y el costo anual por mantenimiento de inventario, y resolviendo después para Q. El gráfico de la figura 12.5 también revela que cuando el costo anual por mantenimiento de inventario para cualquier Q es mayor que el costo anual por hacer pedidos, como sucede con el pedido de 390 unidades, se puede concluir de inmediato que Q es demasiado grande. Con un Q más pequeño se reduce el costo por mantenimiento de inventario y aumenta el costo por hacer pedidos, con lo cual ambos quedan en equilibrio. Asimismo, si el costo anual por hacer pedidos es mayor que es costo anual por mantenimiento de inventario, será necesario incrementar Q.

Las políticas sobre inventarios se basan a veces en el tiempo transcurrido entre dos pedidos de reabastecimiento y no en el número de unidades incluidas en el tamaño del lote. El **tiempo entre pedidos (TBO,** del inglés *time between orders*) para un tamaño de lote en particular es el tiempo promedio que transcurre entre la recepción (o la colocación) de dos pedidos de reabastecimiento de Q unidades. Expresado como una fracción de año, el TBO es sencillamente Q dividido entre la demanda anual. Si se usa la EOQ y se expresa el tiempo en términos de meses, el TBO es:

tiempo entre pedidos (TBO)

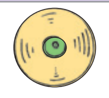
El tiempo promedio que transcurre entre la recepción (o la colocación) de dos pedidos de reabastecimiento de Q unidades para un tamaño de lote en particular.

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} = \frac{\text{EOQ}}{D}(12 \text{ meses/año})$$

En el ejemplo 12.3 se muestra cómo calcular el TBO en años, meses, semanas y días.

Cálculo de la EOQ, el costo total y el TBO — EJEMPLO 12.3

En los comederos para pájaros del ejemplo 12.2, calcule la EOQ y su costo total anual del inventario de ciclo. ¿Con qué frecuencia se harán pedidos si se utiliza la EOQ?



TUTOR 12.3

El tutor 12.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la aplicación del modelo de EOQ.

SOLUCIÓN

Aplicando las fórmulas para obtener la EOQ y el costo anual, se obtiene:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(45)}{15}} = 74.94 \quad \text{o} \quad 75 \text{ unidades}$$

La figura 12.6 muestra que el costo total anual es mucho menor que el costo de $3,033 de la actual política de colocar pedidos de 390 unidades.

FIGURA 12.6

Costos totales anuales del inventario de ciclo con base en la EOQ, usando el tutor 12.3

Parámetros

Tamaño de lote actual (Q)	390	Cantidad económica de pedido	75
Demanda (D)	936		
Costo por hacer pedidos (S)	$45		
Costo unitario por mantenimiento en inventario (H)	$15		

Costos anuales		Costos anuales con base en la EOQ	
Pedidos por año	2.4	Pedidos por año	12.48
Costo anual por hacer pedidos	$108.00	Costo anual por hacer pedidos	$561.60
Costo anual por mantenimiento de inventario	$2,925.00	Costo anual por mantenimiento de inventario	$562.50
Costo anual de inventario	$3,033.00	Costo anual de inventario	$1,124.10

Cuando se usa la EOQ, el tiempo entre pedidos (TBO) se puede expresar de varias maneras para un mismo periodo.

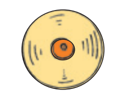
$$TBO_{EOQ} = \frac{EOQ}{D} = \frac{75}{936} = 0.080 \text{ año}$$

$$TBO_{EOQ} = \frac{EOQ}{D}(12 \text{ meses/año}) = \frac{75}{936}(12) = 0.96 \text{ mes}$$

$$TBO_{EOQ} = \frac{EOQ}{D}(52 \text{semanas/año}) = \frac{75}{936}(52) = 4.17 \text{ semanas}$$

$$TBO_{EOQ} = \frac{EOQ}{D}(365 \text{ días/año}) = \frac{75}{936}(365) = 29.25 \text{ días}$$

Punto de decisión Si se usa la EOQ, se necesitarán alrededor de 12 pedidos por año. Con la política actual de 390 unidades por pedido, se necesitará un promedio de 2.4 pedidos por año (cada cinco meses). Con la política actual se ahorra en costos por hacer pedidos, pero se incurre en un costo mucho mayor por mantenimiento del inventario de ciclo. Aunque es fácil entender qué opción es la mejor con base en los costos totales por hacer pedidos y mantenimiento de inventario, otros factores pueden influir en la decisión final. Por ejemplo, si el proveedor rebajara el precio unitario en pedidos grandes, quizá sería mejor ordenar la cantidad mayor.



MODELO ACTIVO 12.1

El modelo activo 12.1 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor el modelo de EOQ y sus usos.

EXPLICACIÓN DEL EFECTO DE LOS CAMBIOS

Cuando la fórmula de la EOQ se somete a un *análisis de sensibilidad*, se pueden extraer conocimientos valiosos sobre la administración de inventarios. El análisis de sensibilidad es una técnica para modificar sistemáticamente los parámetros de importancia crucial a fin de determinar los efectos de un cambio. Considérense los efectos en la EOQ cuando se sustituyen diferentes valores en el numerador o el denominador de la fórmula.

Un cambio en la tasa de demanda En virtud de que D está en el numerador, la EOQ (y, por lo tanto, el mejor nivel del inventario de ciclo) aumenta en forma proporcional a la raíz cuadrada de la demanda anual. Por lo tanto, cuando aumenta la demanda, el tamaño del lote también debe aumentar, pero más lentamente que la demanda real.

Un cambio en los costos de preparación Por el hecho de que S está en el numerador, al aumentar S aumenta la EOQ y, en consecuencia, también aumenta el inventario de ciclo promedio. A la inversa, al reducir S se reduce la EOQ, con lo cual es posible producir de manera económica lotes con tamaños más pequeños. Esta relación explica por qué se interesan tanto los fabricantes en reducir el tiempo y los costos de preparación. Cuando disminuyen las semanas de suministro, las rotaciones del inventario aumentan. Cuando el costo y el tiempo de preparación se vuelven triviales, se suprime un importante impedimento para la producción en lotes pequeños.

Un cambio en los costos por mantenimiento de inventario Por el hecho de que H se encuentra en el denominador, la EOQ disminuye cuando H aumenta. A la inversa, cuando H disminuye, la EOQ aumenta. En este caso, los lotes de tamaños más grandes se justifican porque los costos por mantenimiento de inventario son más bajos.

Errores en la estimación de *D*, *H* y *S* El costo total es muy poco sensible a los errores, aun cuando las estimaciones estén equivocadas por un amplio margen. Esto se debe a que los errores tienden a cancelarse mutuamente y a que la raíz cuadrada reduce el efecto del error. Suponga que se ha estimado incorrectamente el costo por mantenimiento de inventario, atribuyéndole el doble de su verdadero valor; es decir, EOQ se calculó utilizando $2H$, en lugar de H. En el ejemplo 12.3, este error de 100% incrementa el costo total del inventario de ciclo tan sólo en 6%, de $1,124 a $1,192. Así pues, la EOQ se localiza en una zona relativamente amplia de tamaños de lote acepta-

bles, lo cual permite que los gerentes se desvíen un poco de la EOQ a fin de ajustarse a las especificaciones de los contratos con el proveedor o a las restricciones de almacenamiento.

EOQ Y SISTEMAS ESBELTOS

A primera vista podría parecer que la EOQ se opone diametralmente a los principios de los *sistemas esbeltos,* que se basan en lotes de tamaño pequeño y niveles bajos de inventario. Sin embargo, las mismas mejoras en los procesos que producen un sistema esbelto crean un entorno que se aproxima a las suposiciones más o menos restrictivas de la EOQ. Por ejemplo, las tasas de demanda por año, mes, día u hora se conocen con certeza razonable en los sistemas esbeltos y la tasa de demanda es relativamente uniforme. Los sistemas esbeltos también pueden tener pocas restricciones en sus procesos si la empresa practica la *administración de restricciones.* Además, los sistemas esbeltos se esfuerzan por tener tiempos de entrega constantes y cantidades confiables de entrega por parte de los proveedores, las cuales son también supuestos de la EOQ. En consecuencia, la EOQ es una herramienta para dimensionar los lotes que es muy compatible con los principios de los sistemas esbeltos.

> SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIO <

La EOQ y otros métodos para calcular el tamaño del lote responden esta importante pregunta: ¿qué cantidad se debe pedir? Otra pregunta importante que requiere respuesta es: ¿cuándo debe hacerse el pedido? Un sistema de control de inventario responde ambas preguntas. Cuando se selecciona un sistema de control de inventario para una aplicación en particular, el carácter de las demandas impuestas sobre los artículos del inventario es un factor crucial. Una diferencia importante entre los tipos de inventarios es si el artículo en cuestión está sujeto a una demanda dependiente o independiente. Los detallistas, como JCPenney, y los distribuidores tienen que manejar **artículos de demanda independiente**, es decir, aquéllos cuya demanda se ve afectada por las condiciones del mercado y no está relacionada con las decisiones de inventario referentes a ningún otro artículo que se tenga almacenado. El inventario de demanda independiente incluye:

artículos de demanda independiente
Artículos cuya demanda se ve afectada por las condiciones del mercado y no está relacionada con las decisiones de inventario referentes a ningún otro artículo que se tenga almacenado.

- Mercancía para venta al mayoreo y al menudeo.
- Inventario de apoyo a servicios, como sellos y etiquetas de correo en el caso de oficinas postales, artículos de oficina si se trata de bufetes de abogados, y suministros de laboratorio en las universidades dedicadas a la investigación.
- Inventarios para la distribución de productos y partes de repuesto.
- Suministros para mantenimiento, reparación y operación (MRO); es decir, elementos que no forman parte del producto o servicio final, como uniformes de empleados, combustibles, pinturas y partes de repuesto para la reparación de máquinas.

La administración de un inventario de demanda independiente suele ser complicada porque la demanda está sujeta a la influencia de factores externos. Por ejemplo, la dueña de una librería no puede estar segura de cuántos ejemplares de la novela que es el último éxito editorial comprarán los clientes durante el mes entrante. En consecuencia, tal vez decida mantener en inventario algunos ejemplares adicionales como reserva de seguridad. Es preciso hacer el pronóstico de la demanda de carácter independiente, como la de los diversos títulos de libros.

Este capítulo se centra en los sistemas de control de inventario para artículos con demanda independiente, es decir, el tipo de demanda que enfrentan tanto la propietaria de la librería como otros comerciantes detallistas, proveedores de servicios y distribuidores. Aun cuando es difícil pronosticar la demanda de un cliente cualquiera, la baja demanda de algunos clientes se compensa a menudo con la alta demanda de otros. Así, la demanda total de cualquier artículo con demanda independiente puede seguir un patrón relativamente uniforme, con algunas fluctuaciones aleatorias. Los *artículos de demanda dependiente* son los que se requieren como componentes o insumos de un producto o servicio. La demanda dependiente muestra un patrón muy distinto del que corresponde a la demanda independiente y debe administrarse con técnicas diferentes (véase el capítulo 15, "Planificación de recursos").

En esta sección se analizan y comparan dos sistemas de control de inventario: (1) el sistema de revisión continua, conocido como sistema Q, y (2) el sistema de revisión periódica, llamado sistema P. Por último, se estudiarán los sistemas híbridos, que presentan características tanto del sistema P como del sistema Q.

sistema de revisión continua (Q)
Sistema diseñado para llevar el control del inventario remanente de un artículo cada vez que se hace un retiro para determinar si ha llegado el momento de hacer un nuevo pedido.

sistema de punto de reorden (ROP)
Véase **sistema de revisión continua (*Q*)**

SISTEMA DE REVISIÓN CONTINUA

En un **sistema de revisión continua (*Q*)**, conocido a veces como **sistema de punto de reorden (ROP,** del inglés *reorder point system*) o sistema de cantidad de pedido fija, se lleva el control del inventario remanente de un artículo cada vez que se hace un retiro para determinar si ha llegado el momento de hacer un nuevo pedido. En la práctica, estas revisiones se realizan con frecuencia

posición de inventario (IP)

Medida de la capacidad de un artículo para satisfacer la demanda futura.

recepciones programadas (SR)

Pedidos que ya se hicieron pero que aún no se han recibido.

pedidos abiertos

Véase **recepciones programadas (SR)**.

punto de reorden (*R*)

El nivel mínimo predeterminado que una posición de inventario debe alcanzar para pedir una cantidad fija *Q* del artículo.

(por ejemplo, todos los días) y muchas veces de modo continuo (después de cada retiro). El advenimiento de las computadoras y las cajas registradoras electrónicas enlazadas con los registros de inventario ha facilitado las revisiones continuas. En cada revisión se toma una decisión acerca de la posición de inventario del artículo. Si se considera que es demasiado baja, el sistema prepara automáticamente un nuevo pedido. La **posición de inventario (IP,** del inglés *inventory position*) mide la capacidad del artículo para satisfacer la demanda futura. Esto incluye las **recepciones programadas (SR)** (del inglés *scheduled receipts*), que consisten en los pedidos que ya se hicieron pero que aún no se han recibido, más el inventario disponible (OH, del inglés *on-hand inventory*), menos los pedidos aplazados (BO, del inglés *backorders*). A veces, las recepciones programadas se conocen como **pedidos abiertos**. Dicho en forma más específica:

$$\text{Posición de inventario} = \text{Inventario disponible} + \text{Recepciones programadas} - \text{Pedidos aplazados}$$

$$IP = OH + SR - BO$$

Cuando la posición de inventario llega a un nivel mínimo predeterminado, llamado **punto de reorden (*R*)**, se pide una cantidad fija *Q* del artículo en cuestión. En un sistema de revisión continua, aunque la cantidad de pedido *Q* es fija, el tiempo que transcurre entre los pedidos suele variar. Por lo tanto, *Q* puede basarse en la EOQ, en una cantidad de cambio de precio (el tamaño de lote mínimo para poder obtener un descuento por cantidad), en el tamaño del contenedor (como un camión lleno), o en cualquier otra cantidad seleccionada por la gerencia.

Selección del punto de reorden cuando la demanda se conoce con certeza Para demostrar el concepto del punto de reorden, suponga que la demanda de comederos para pájaros en la tienda de regalos del museo del ejemplo 12.3 es siempre de 18 por semana, el tiempo de espera es constantemente de dos semanas y el proveedor siempre embarca a tiempo la cantidad exacta del pedido. En vista de que tanto la demanda como el tiempo de espera se conocen con certeza, la persona que está a cargo de hacer las compras del museo puede esperar hasta que la posición de inventario descienda a 36 unidades, o (18 unidades/semana)(2 semanas), para hacer un nuevo pedido. Así, en este caso, el punto de reorden, *R*, es igual a la *demanda durante el tiempo de espera*, sin añadir margen alguno por concepto de inventario de seguridad.

La figura 12.7 ilustra cómo funciona el sistema cuando la demanda y el tiempo de espera son constantes. La línea cuya pendiente es descendente representa el inventario disponible, el cual se va agotando a ritmo constante. Cuando llega al punto de reorden *R* (la línea horizontal), se coloca un nuevo pedido por *Q* unidades. El inventario disponible continúa disminuyendo durante todo el tiempo de espera, *L*, hasta que al fin se recibe el pedido. En ese momento, que marca el final del tiempo de espera, el inventario disponible aumenta en *Q* unidades. El nuevo pedido llega precisamente cuando el inventario se reduce a 0. El tiempo entre pedidos (TBO) es el mismo para cada ciclo.

La posición de inventario, IP, ilustrada en la figura 12.7, corresponde al inventario disponible, excepto durante el tiempo de espera. Inmediatamente después de hacer un nuevo pedido, al principio del tiempo de espera, IP se incrementa en *Q*, como lo muestra la línea discontinua. La IP supera al OH por este mismo margen durante todo el tiempo de espera.[6] Al final del tiempo de espera, cuando la recepción programada se transforma en inventario disponible, vuelve a darse el caso de que IP = OH. El punto clave consiste en comparar la IP, y no el OH, con *R* al momento de decidir si es conveniente hacer un nuevo pedido. Un error muy común consiste en pasar por alto las recepciones programadas o los pedidos aplazados.

EJEMPLO 12.4 Determinación de si debe colocarse un pedido

La demanda de sopa de pollo en un supermercado siempre es de 25 cajas diarias y el tiempo de espera de las mismas es de cuatro días. Los anaqueles acaban de reabastecerse con sopa de pollo, con lo cual quedó un inventario disponible de sólo 10 cajas. No hay pedidos aplazados, pero sí un pedido abierto de 200 cajas. ¿Cuál es la posición de inventario? ¿Es conveniente hacer un nuevo pedido?

SOLUCIÓN

$$R = \text{Demanda promedio durante el tiempo de espera} = (25)(4) = 100 \text{ cajas}$$

$$\begin{aligned} IP &= OH + SR - BO \\ &= 10 + 200 - 0 = 210 \text{ cajas} \end{aligned}$$

Punto de decisión Como IP es mayor que *R* (210 frente a 100), no conviene hacer un nuevo pedido. El inventario está casi agotado, pero no es necesario hacer un nuevo pedido porque la recepción programada está en camino.

[6] Una posible excepción es la improbable situación en que más de una recepción programada esté abierto al mismo tiempo, debido a los largos tiempos de entrega.

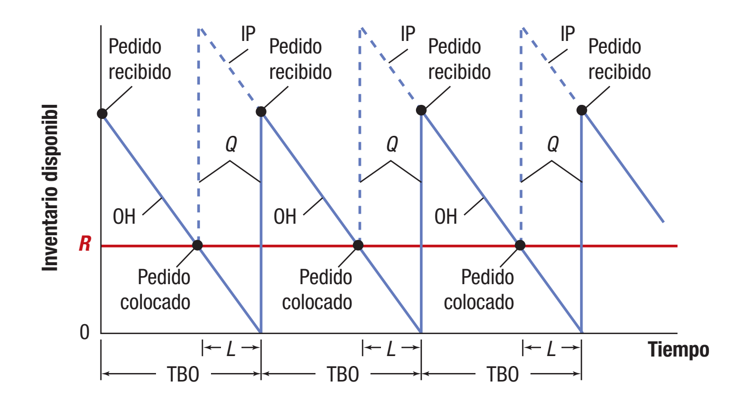


FIGURA 12.7

Sistema Q cuando la demanda y el tiempo de espera son constantes y se conocen con certeza

Selección del punto de reorden cuando la demanda es incierta En realidad, la demanda y los tiempos de entrega no siempre son previsibles. Por ejemplo, el comprador del museo sabe que la demanda *promedio* es de 18 comederos para pájaros a la semana y que el tiempo de espera *promedio* es de dos semanas. Esto significa que un número variable de comederos pueden ser comprados durante el tiempo de espera, con una demanda promedio durante ese tiempo de 36 comederos (suponiendo que la demanda de cada semana se distribuya en forma idéntica). Esta situación genera la necesidad de contar con inventarios de seguridad. Suponga que el comprador del museo establece R en 46 unidades, por lo cual suele hacer sus pedidos antes de que se necesiten. Este método creará un inventario de seguridad, o un inventario superior a la demanda esperada, de 10 unidades (46 – 36) como protección contra la incertidumbre de la demanda. En general,

$$\text{Punto de reorden} = \text{Demanda promedio durante el tiempo de espera} + \text{Inventario de seguridad}$$

La figura 12.8 muestra cómo funciona el sistema Q cuando la demanda es variable e incierta. Se supone que la variabilidad de los tiempos de entrega es insignificante y que, por lo tanto, se puede considerar como una constante, tal como se hizo en desarrollo del modelo EOQ. La línea ondulada con pendiente descendente indica que la demanda varía de un día a otro. La pendiente es más pronunciada en el segundo ciclo, lo que significa que la tasa de demanda es más alta durante este periodo. La tasa de demanda cambiante denota que el tiempo entre pedidos es variable, de modo que $TBO_1 \neq TBO_2 \neq TBO_3$. Debido a la incertidumbre de la demanda, las ventas durante el tiempo de espera son imprevisibles y se añade un inventario de seguridad como medida de protección contra posibles pérdidas de ventas. Esta adición explica por qué R es más alto en la figura 12.8 que en la figura 12.7. También explica por qué el inventario disponible generalmente no se ha reducido a 0 en el momento en que llega un pedido de reabastecimiento. Cuanto más grande sea el inventario de seguridad, y por ende más alto sea el punto de reorden R, tanto menos probable será que se presente un desabasto.

En virtud de que la demanda promedio durante el tiempo de espera es variable e incierta, la verdadera decisión que debe tomarse al seleccionar R es la que concierne al nivel del inventario de seguridad. La decisión de mantener un inventario de seguridad grande o pequeño implica un equilibrio entre el servicio al cliente y los costos por mantenimiento de inventario. Se pueden usar modelos de minimización de costos para encontrar el mejor inventario de seguridad, pero para eso se requieren estimaciones del costo del desabasto y de los pedidos aplazados, que generalmente son difíciles de calcular con precisión. El método usual para determinar R consiste en que la gerencia,

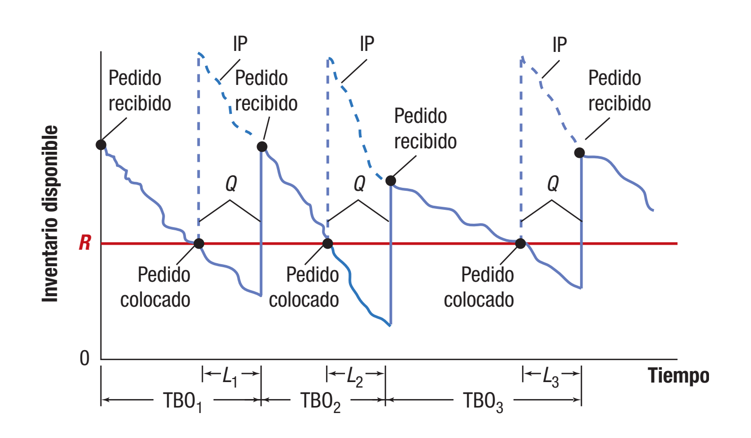


FIGURA 12.8

Sistema Q cuando la demanda es incierta

basada en su criterio, establezca primero una política razonable de nivel de servicio para el inventario y después determine el nivel del inventario de seguridad que satisfaga esa política.

nivel de servicio
La probabilidad deseada de no quedarse sin inventario durante el ciclo de pedido, que comienza en el momento en que se coloca un pedido y termina cuando éste se recibe y los artículos solicitados llegan al inventario.

nivel de servicio de ciclo
Véase **nivel de servicio**

intervalo de protección
El periodo en el cual el inventario de seguridad debe proteger al usuario contra el desabasto.

Selección de una política de nivel de servicio apropiado Los gerentes deben sopesar los beneficios de mantener un inventario de seguridad y el costo que implica mantenerlo. Una forma de determinar el inventario de seguridad consiste en establecer un **nivel de servicio** o **nivel de servicio de ciclo**, es decir, la probabilidad deseada de no quedarse sin inventario durante el ciclo de pedido, que comienza en el momento en que se coloca un pedido y termina cuando éste se recibe y los artículos solicitados llegan al inventario. En una librería, el gerente puede seleccionar un nivel de servicio de ciclo de 90% para un título determinado. En otras palabras, existe una probabilidad de 90% de que la demanda no sea mayor que la oferta durante tiempo de espera. Para el sistema *Q*, el tiempo de espera es también el **intervalo de protección,** o el periodo en el cual el inventario de seguridad debe proteger al usuario contra el desabasto. La probabilidad de que el inventario se agote *durante el intervalo de protección,* creándose así un desabasto o un pedido aplazado, es de sólo 10% (100 - 90). Este riesgo de que haya desabasto, que en el sistema *Q* se presenta únicamente durante el tiempo de espera, es mayor que el riesgo general de incurrir en desabasto, porque dicho riesgo es inexistente fuera del ciclo de colocación y recepción de pedidos.

Para traducir esta política en un nivel específico de inventario de seguridad, es necesario saber cómo está distribuida la demanda durante el tiempo de espera. Si la demanda varía poco con respecto a su promedio, entonces el inventario de seguridad puede ser pequeño. A la inversa, si la demanda durante el tiempo de espera varía mucho de un ciclo de pedido al siguiente, el inventario de seguridad tendrá que ser grande. La variabilidad se mide con distribuciones de probabilidad, las cuales se especifican en términos de una media y una varianza.

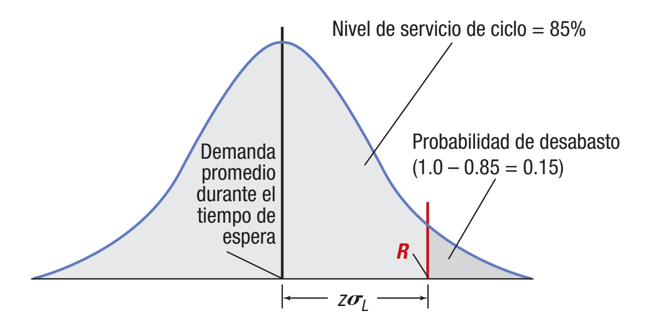
Cálculo del inventario de seguridad Al seleccionar el inventario de seguridad, es frecuente que el planificador del inventario suponga que la demanda se distribuye normalmente durante el tiempo de espera, como muestra la figura 12.9. La demanda promedio durante el tiempo de espera es la línea central del gráfico, quedando 50% del área bajo la curva a la izquierda y el otro 50% a la derecha. De este modo, si se seleccionara un nivel de servicio de ciclo de 50%, el punto de reorden *R* sería la cantidad representada por esta línea central. Como *R* es igual a la demanda promedio durante el tiempo de espera más el inventario de seguridad, este último es 0 cuando *R* es igual a la demanda promedio. La demanda es inferior al promedio el 50% del tiempo, por lo cual el hecho de no tener inventario de seguridad sólo será suficiente en el 50% del tiempo.

Para ofrecer un nivel de servicio por encima del 50%, el punto de reorden deberá ser mayor que la demanda promedio durante el tiempo de espera. En la figura 12.9, eso requeriría mover el punto de reorden hacia la derecha de la línea central, de manera que más del 50% del área bajo la curva quedara a la izquierda de *R*. En la figura 12.9, se ha conseguido un nivel de servicio de ciclo de 85%, colocando a la izquierda de *R* el 85% del área bajo la curva (en gris claro) y dejando sólo 15% a la derecha (en gris oscuro). Para calcular el inventario de seguridad, se multiplica el número de desviaciones estándar con respecto a la media que se requiera para multiplicar el nivel de servicio de ciclo, *z*, por la desviación estándar de la demanda en la distribución de probabilidad,[7] σ_L durante el tiempo de espera::

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_L$$

Cuanto más alto sea el valor de *z*, tanto más altos deberán ser el inventario de seguridad y el nivel de servicio de ciclo. Si $z = 0$, no existe inventario de seguridad y habrá desabasto durante el 50% de los ciclos de pedido.

FIGURA 12.9
Cálculo del inventario de seguridad con una distribución normal de probabilidad para un nivel de servicio de ciclo del 85%



[7]Algunos planificadores de inventario que utilizan sistemas manuales prefieren trabajar con la desviación media absoluta (MAD, del inglés *mean absolute deviation*) y no con la desviación estándar, porque la primera es más fácil de calcular. La MAD es simplemente el promedio de las desviaciones absolutas entre las demandas reales y su promedio. Para aproximar la desviación estándar, sólo hay que multiplicar la MAD por 1.25. Una vez hecho esto, calcule el inventario de seguridad.

Cálculo del inventario de seguridad y *R* — EJEMPLO 12.5

Los registros indican que, durante el tiempo de espera, la demanda de detergente para máquinas lavaplatos tiene una distribución normal, con un promedio de 250 cajas y $\sigma_L = 22$. ¿Qué inventario de seguridad será necesario mantener para alcanzar un nivel de servicio de ciclo de 99%? ¿Y cuál será el valor de *R*?

SOLUCIÓN

El primer paso consiste en encontrar *z*, el número de desviaciones estándar a la derecha de la demanda promedio durante el tiempo de espera, con el cual el 99% del área bajo la curva queda a la izquierda de ese punto (0.9900 en la tabla que se presenta en el apéndice Distribución normal). El número más cercano que se encuentra en la tabla es 0.9901, que corresponde a las cifras 2.3 en el encabezado de la fila y 0.03 en el encabezado de la columna. Al sumar estos valores se obtiene una *z* de 2.33. Con esta información, se puede calcular el inventario de seguridad y el punto de reorden:

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_L = 2.33\,(22) = 51.3 \quad \text{o} \quad 51 \text{ cajas}$$

$$\text{Punto de reorden} = \text{Demanda promedio durante el tiempo de espera} + \text{Inventario de seguridad}$$

$$= 250 + 51 = 301 \text{ cajas}$$

Se ha redondeado la cifra del inventario de seguridad al número entero más próximo. En este caso, el nivel de servicio de ciclo teórico será menor que 99%. Si se aumenta a 52 cajas el inventario de seguridad, se obtendrá un nivel de servicio de ciclo mayor que 99%.

Punto de decisión La gerencia puede controlar la cantidad del inventario de seguridad eligiendo un nivel de servicio. Otro método para reducir el inventario de seguridad consiste en disminuir la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, lo cual puede lograrse si existe una coordinación más estrecha con los principales clientes por medio de la tecnología informática.

En la practica, para encontrar el punto de reorden y el inventario de seguridad apropiados es necesario estimar la distribución de la demanda durante el tiempo de espera. A veces, la demanda promedio durante el tiempo de espera y la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, σ_L, no pueden obtenerse directamente y es necesario calcularlas combinando la información referente a la tasa de demanda con la información sobre el tiempo de espera. Este cálculo adicional se basa en las siguientes dos razones:

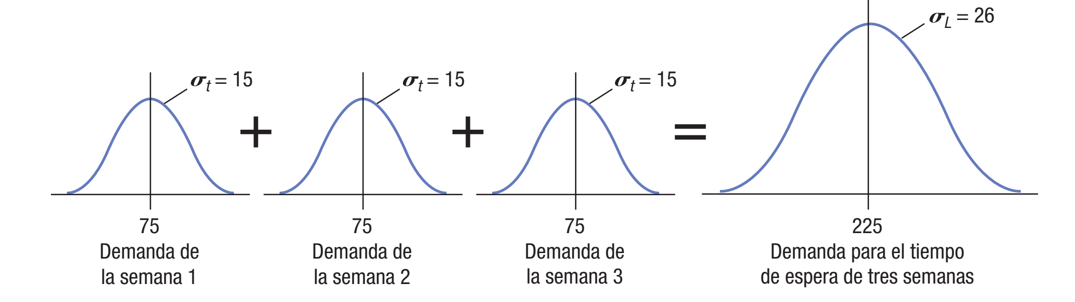
1. Puede ser más sencillo estimar primero la demanda y después calcular el tiempo de espera. La información acerca de la demanda se obtiene del cliente, en tanto que los tiempos de entrega provienen del proveedor.
2. Es probable que no se puedan recabar registros para un intervalo de tiempo que sea exactamente igual al tiempo de espera. Se puede usar el mismo sistema de control de inventario para administrar miles de artículos diferentes, cada uno con un tiempo de espera distinto. Por ejemplo, si los registros de demanda son *semanales*, podrán utilizarse directamente para calcular el promedio y la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera, si este último es exactamente de una semana. Sin embargo, si el tiempo de espera es de tres semanas, el cálculo es un poco más difícil.

Para hacer frente al caso más difícil, se pueden hacer algunas suposiciones razonables. Suponga que se conoce la demanda promedio, d, así como la desviación estándar de la demanda, σ_t, sobre algún intervalo de tiempo t (por ejemplo, días o semanas), donde t no es igual al tiempo de espera. Suponga también que las distribuciones de probabilidad de la demanda para cada intervalo de tiempo t son idénticas e independientes unas de otras. Por ejemplo, si el intervalo de tiempo es de una semana, las distribuciones de probabilidad de la demanda serán las mismas cada semana (d y σ_t idénticas), y la demanda total en una semana no afectará la demanda total en otra. Sea L el tiempo de espera constante, expresado como un múltiplo (o fracción) de t. Si t representa una semana y el tiempo de espera es de tres semanas, $L = 3$. Con estas suposiciones, la demanda promedio durante el tiempo de espera será la suma de los promedios correspondientes a cada una de las L distribuciones idénticas e independientes de la demanda, o $d + d + d + \ldots = dL$. Además, la varianza de la distribución de la demanda para el tiempo de espera será la suma de las varianzas de las L distribuciones idénticas e independientes de la demanda, es decir, $\sigma_t^2 + \sigma_t^2 + \sigma_t^2 + \cdots = \sigma_t^2 L$. Finalmente, la desviación estándar de la suma de dos o más variables aleatorias independientes distribuidas en forma idéntica es igual a la raíz cuadrada de la suma de sus varianzas, o sea:

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_t^2 L} = \sigma_t \sqrt{L}$$

FIGURA 12.10

Desarrollo de la distribución de la demanda para el tiempo de espera



La figura 12.10 muestra cómo se desarrolla la distribución de la demanda para el tiempo de espera, a partir de las distribuciones individuales de las demandas semanales, donde $d = 75$, $\sigma_t = 15$, y $L = 3$ semanas. En este caso, la demanda promedio durante el tiempo de espera es de (75)(3) = 225 unidades y $\sigma_L = 15\sqrt{3} = 25.98$, o sea, 26.

Cálculo de los costos totales en el sistema Q Los costos totales en el sistema de revisión continua (Q) es la suma de tres componentes de costo:

Costo total = Costo anual por mantenimiento de inventario de ciclo + Costo anual por hacer pedidos + Costo anual por mantenimiento de inventario de seguridad

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + Hz\sigma_L$$

El costo anual por mantenimiento de inventario de ciclo y el costo anual por hacer pedidos se calculan con las mismas ecuaciones que se usaron para calcular el costo total anual del inventario de ciclo en los ejemplos 12.2 y 12.3. El costo anual por mantenimiento de inventario de seguridad se calcula bajo el supuesto de que el inventario de seguridad está disponible todo el tiempo. Remitiéndose a la figura 12.8 en cada ciclo de pedido, a veces se experimentará demanda mayor que la demanda promedio durante el tiempo de espera, y a veces menor. En promedio durante el año, se puede suponer que el inventario de seguridad estará disponible.

EJEMPLO 12.6 Cálculo del inventario de seguridad y *R* cuando es necesario desarrollar la distribución de la demanda para el tiempo de espera



TUTOR 12.4

El tutor 12.4 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para determinar el inventario de seguridad y el punto de reorden en un sistema *Q*.

Consideremos nuevamente el ejemplo del comedero para pájaros. Suponga que la demanda promedio es de 18 unidades por semana, con una desviación estándar de 5 unidades. El tiempo de espera es constante y equivale a dos semanas. Determine el inventario de seguridad y el punto de reorden si la gerencia desea alcanzar un nivel de servicio de ciclo de 90%. ¿Cuál es el costo total del sistema *Q*?

SOLUCIÓN

En este caso,, $t = 1$ semana, $\sigma_t = 5$, $d = 18$ unidades, y $L = 2$ semanas, por lo cual:

$$\sigma_L = \sigma_t\sqrt{L} = 5\sqrt{2} = 7.1$$

Consulte las listas de la tabla en el apéndice Distribución normal para 0.9000, que corresponde al nivel de servicio de ciclo de 90%. El número más cercano es 0.8997, que corresponde a un valor z de 1.28. Con esta información, se calcula el inventario de seguridad y el punto de reorden como sigue:

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_L = 1.28(7.1) = 9.1 \quad \text{o} \quad 9 \text{ unidades}$$

$$\text{Punto de reorden} = dL + \text{Inventario de seguridad}$$
$$= 2(18) + 9 = 45 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, el sistema *Q* para el comedero para pájaros funcionará en la siguiente forma: cada vez que la posición de inventario llegue a 45 unidades, será necesario hacer un pedido por la EOQ de 75 unidades. El costo total del sistema *Q* para el comedero para pájaros es de:

$$C = \frac{75}{2}(\$15) + \frac{936}{75}(\$45) + 9(\$15) = \$562.50 + \$561.60 + \$135.00 = \$1{,}259.10$$

Punto de decisión Se pueden usar varias cantidades de pedido y niveles de inventario de seguridad en el sistema Q. Por ejemplo, la gerencia podría especificar una cantidad de pedido diferente (debido a restricciones en el envío) o un inventario de seguridad distinto (debido a limitaciones de almacenamiento). Los costos totales de dichos sistemas se pueden calcular para así establecer el equilibrio entre los costos y los niveles de servicio deseados.

Selección del punto de reorden cuando la demanda y el tiempo de espera son inciertos

En la práctica, a menudo sucede que tanto la demanda como el tiempo de espera son inciertos. La clave para determinar el punto de reorden radica en desarrollar la demanda durante la distribución de probabilidad del intervalo de protección en estas condiciones más complicadas. Sin embargo, una vez que se conoce la distribución y se especifica el nivel de servicio de ciclo deseado, se puede seleccionar el punto de reorden como se hizo antes para el caso donde el tiempo de espera era constante. Si se conocen las distribuciones teóricas de la demanda por unidad de tiempo y el tiempo de espera, la distribución de probabilidad conjunta de la demanda durante el tiempo de espera puede obtenerse analíticamente con mucho trabajo. Un método más práctico es usar una simulación por computadora. Se obtiene aleatoriamente un tiempo de espera a partir de la distribución del tiempo de espera, y después se obtienen aleatoriamente las demandas para cada periodo del tiempo de espera a partir de la distribución de la demanda. Se registra la demanda total para ese tiempo de espera, y el procedimiento se repite un gran número de veces para llegar a una demanda durante la distribución del tiempo de espera.

Se demostrará este método con distribuciones de probabilidad discretas para las distribuciones de la demanda y el tiempo de espera. Se pueden usar distribuciones de probabilidad discretas para aproximar distribuciones de probabilidad teóricas, y éstas pueden usarse en situaciones donde las demandas o tiempos de entrega reales no siguen ninguna de las distribuciones teóricas conocidas. Una distribución de probabilidad discreta para el tiempo de espera enumera cada tiempo de espera posible en intervalos de tiempo t (por ejemplo, en días o semanas) y su probabilidad. Una distribución de probabilidad discreta para la demanda enumera cada demanda posible que podría ocurrir durante un intervalo de tiempo de duración t y su probabilidad. Considere la siguiente información, que se basa en los datos del comedero para pájaros del ejemplo 12.6. Suponga que el tiempo de espera tiene la distribución de probabilidad que se muestra en la tabla 12.1. El tiempo de espera promedio es de dos semanas, el mismo del ejemplo 12.6. Sin embargo, ahora hay una variabilidad considerable en los tiempos de entrega reales que pueden experimentarse.

Ahora considere la siguiente distribución de la demanda, como se muestra en la tabla 12.2. La demanda promedio por semana es de 18 unidades, y la desviación estándar es de 5 unidades (redondeada al número entero más próximo), como en el ejemplo 12.6. La demanda durante la distribución de probabilidad del intervalo de protección puede estimarse usando una hoja de cálculo de Excel, como se ilustra en la figura 12.11.

Con una distribución normal, se calcula primero el inventario de seguridad y después se suma a la demanda promedio durante el tiempo de espera para obtener el punto de reorden; mientras que con una distribución discreta, la secuencia se invierte. Se supone que los niveles de demanda que se indican en la figura 12.11 son los únicos niveles de demanda que pueden presentarse (nada intermedio). A continuación, se selecciona R en la lista de niveles de demanda en la distribución. La probabilidad acumulada de demandas iguales o menores que el valor elegido para R deben ser iguales o superiores al nivel de servicio de ciclo deseado, y R es la menor de estas cantidades. Este método conservador garantiza que se alcanzarán o superarán las metas de servicio del inventario. Por ejemplo, si el nivel de servicio de ciclo deseado para el comedero para pájaros es de 90%, se establecería R igual a 64 unidades en la figura 12.11, lo que de hecho dará un nivel de servicio de ciclo de 93%. Para calcular el nivel del inventario de seguridad, la demanda promedio durante el tiempo de espera en la simulación se resta de R. En el ejemplo, el inventario de seguridad es de 64 – 36 = 28 unidades.

TABLA 12.1 Distribución de probabilidad del tiempo de espera

Tiempo de espera (semanas)	Probabilidad del tiempo de espera
1	0.35
2	0.45
3	0.10
4	0.05
5	0.05

TABLA 12.2 Distribución de probabilidad para la demanda

Demanda (unidades por semana)	Probabilidad de la demanda
10	0.10
13	0.20
18	0.40
23	0.20
26	0.10

	A	B	C	D	E
1	*Distribución de probabilidad de la demanda*				
2	*(Unidades por periodo)*				
3	Probabilidad de la demanda	Rango inferior de probabilidad	Demanda (unidades)		
4	0.10	0.00	10		
5	0.20	0.10	13		
6	0.40	0.30	18		
7	0.20	0.70	23		
8	0.10	0.90	26		
9					
10	*Distribución de probabilidad del tiempo de espera*				
11					
12–13	Probabilidad del tiempo de espera	Rango inferior	Intervalo de protección		
14	0.35	0.00	1		
15	0.45	0.35	2		
16	0.10	0.80	3		
17	0.05	0.90	4		
18	0.05	0.95	5		
19					
20	*Demanda durante la distribución del intervalo de protección*				
21–22	GRUPOS	Demanda	Frecuencia	Porcentaje acumulado	
23	10	**10**	24	**0.05**	
24	22	**16**	84	**0.22**	
25	34	**28**	141	**0.50**	
26	46	**40**	145	**0.79**	
27	58	**52**	49	**0.89**	
28	70	**64**	23	**0.93**	
29	82	**76**	17	**0.97**	
30	94	**88**	10	**0.99**	
31	106	**100**	5	**1.00**	
32	118	**112**	2	**1 00**	
33	130	**More**	0	**1.00**	
34					
35		**Total**	**500**		
36					
37	Límite inferior	10			
38	Límite superior	130			
39					
40	Rango	120			
41					
42	Grupos	10			
43					
44	Rango de grupo	12			
45					
46					
47					
48					

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	*Números aleatorios*										
2		Demanda por periodo en el intervalo de protección									
3	Tiempo de espera	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	Periodo 8	Periodo 9	Periodo 10
4	0.1637	0 0833	0.5102	0.2518	0.5184	0.2025	0.7836	0.1628	0.5987	0.3116	0.4781
5	0.6769	0.8404	0.6872	0.0135	0.1993	0.6971	0.3746	0.4923	0.4031	0.1828	0.5277
6	0.6847	0.7367	0 9619	0.9626	0.5671	0.5760	0.6335	0.1021	0.6465	0.1341	0.3566
7	0.2129	0.6666	0.7249	0.4595	0.2043	0.6652	0.6160	0.9479	0.7499	0.5985	0.0808
8	0.2541	0.0365	0.4230	0 2839	0.7738	0.3001	0.8734	0.0667	0.8477	0.7052	0.0513
9	0.5016	0.6766	0.6239	0.3281	0.6489	0.4644	0.6653	0.5601	0.9461	0.5983	0.6157
10					0.7195	0.0047	0.6908	0.5194	0.4332	0.1357	0.9932
11					0.3818	0.7743	0.9017	0.2498	0.8027	0.1885	0.7843
12					0.2327	0.6862	0.2880	0.2900	0.1826	0.0995	0.1947
13					0.9474	0.1487	0.0656	0.8645	0.4554	0.1548	0.6615
14					0.6635	0.1279	0.5530	0.1295	0.0743	0.8928	0.2884
15					0.7150	0.6383	0.4391	0.5368	0.7860	0.0648	0.5368
16	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.2304	0.4721	0.5777	0.0694	0.0299	0.4083	0.1546
17	0.0536	0.3992	0.1281	0.8438	0.1844	0.7781	0.6994	0.8040	0.5647	0.2609	0.2157
18	0.7607	0.6912	0.8048	0.3671	0.8267	0.8732	0.2523	0.0433	0.2588	0.4854	0.2447
19	0.2107	0.7238	0.9769	0.4767	0.4132	0.0630	0.7979	0.6091	0.5206	0.8320	0.5991
20	0.2335	0.4533	0.6874	0.9631	0.6808	0.8151	0.3555	0.5553	0.7274	0.4522	0.3312
21	0.0386	0.3003	0.4065	0.3505	0.9062	0.5987	0.4494	0.8158	0.4851	0.2432	0.2846
22	0.5019	0.9661	0.2541	0.6851	0.2483	0.0343	0.4933	0.2734	0.1725	0.7055	0.5887
23	0.4108	0.8023	0.0978	0.0657	0.9296	0.6807	0.9976	0.2785	0.5228	0.2677	0.6724
24	0.3744	0.5385	0.7282	0.7645	0.8855	0.0943	0.6941	0.2202	0.0919	0.0393	0.0131
25	0.2122	0.7615	0.7820	0.0261	0.1679	0.0716	0.2459	0.2291	0.6456	0.6446	0.5195
26	0.0925	0.8525	0.2320	0.0427	0.7376	0.6809	0.4502	0.7044	0.5545	0.8276	0.4048
27	0.8343	0.6395	0.7648	0.8997	0.3425	0.3840	0.6041	0.8482	0.3168	0.8569	0.2660
28							0.9964	0.9124	0.9332	0.0995	0.1204
29							0.2084	0.4818	0.2383	0.0342	0.9235
30							0.2432	0.6588	0.2063	0.1991	0.6926
31							0.5117	0.1409	0.9094	0.3037	0.1828
32							0.1725	0.3838	0.6962	0.9058	0.6118
33	0.6475	0.7993	0.6954	0.2517	0.8252	0.0122	0.2091	0.0821	0.2956	0.7970	0.6666
34	0.2870	0.2413	0.1980	0.9134	0.7304	0.5016	0.5433	0.5863	0.9347	0.7322	0.9262
35	0.1155	0.4369	0.6033	0.6577	0.9506	0.6063	0.8189	0.2593	0.5367	0.7205	0.6265
36	0.8156	0.0910	0.8654	0.3667	0.7712	0.5901	0.1183	0.2655	0.1137	0.7680	0.2330
37			[illegible]	0.5130	0.9228	0.5766	0.9350	0.9113	0.5257	0.7750	0.9551
38			[illegible]	0.0563	0.4335	0.2733	0.4960	0.8591	0.6733	0.7491	0.8072
39			[illegible]	0.0315	0.7549	0.6415	0.0524	0.6159	0.9905	0.7097	0.1597
40			[illegible]	0.0015	0.4733	0.8386	0.3708	0.7001	0.1249	0.6756	0.9454
41			[illegible]	0.3777	0.0219	0.9943	0.2587	0.8397	0.3581	0.4197	0.1695
42			[illegible]	0.0735	0.4363	0.7587	0.3205	0.4638	0.7741	0.4405	0.2971
43			[illegible]	0.1646	0.4396	0.0534	0.1325	0.2512	0.5349	0.0922	0.6232
44			[illegible]	0.2910	0.4212	0.0393	0.0922	0.7903	0.9088	0.2052	0.2047
45	[illegible]	[illegible]	0.0752	0.8870	0.1202	0.7112	0.6327	0.7573	0.9966	0.0188	0.2281
46	0.3492	0.9502	0.0280	0.7639	0.8914	0.5056	0.3405	0.4324	0.1394	0.1070	0.0724
47	0.5814	0.5982	0.5455	0.7837	0.4116	0.5398	0.8612	0.8702	0.3948	0.6403	0.1019
48	0.3771	0.2760	0.9884	0.8313	0.5897	0.6728	0.4663	0.5004	0.2913	0.9015	0.6352

Se generan números aleatorios usando la función ALEATORIO( ). Para que estos números no cambien, se copian y pegan como valores de la celda F4 a la celda P503.

Las frecuencias se calculan con la función MATRIZ DE FRECUENCIAS: **=FRECUENCIA(AD4:AD503,A23:A33)**
Las celdas AD4:AD503 son las entradas de la matriz de datos y las celdas A23:A33 son las entradas de la matriz de grupos de la función.

"Grupos" son los límites superiores de los intervalos en los que necesitamos agrupar la demanda total durante el intervalo de protección. Se obtienen restando el límite inferior del límite superior y dividiendo la diferencia entre 10. Éste será el rango de cada grupo, permitiendo así 10 grupos del mismo tamaño. Simplemente empiece con el límite inferior y súmele el Rango de grupo (celda B44, que es el valor de la celda B40 dividido entre el valor de la celda B42, en este caso).

FIGURA 12.11 Hoja de cálculo de Excel que muestra cómo simular la demanda durante el intervalo de protección en un sistema Q (continúa en la p. 483)

Ahora se puede especificar todo el sistema de revisión continua (Q). La cantidad de pedido se determina igual que antes; aquí, como en el ejemplo 12.6, se usa una EOQ de 75 unidades. El punto de reorden es 64 unidades, y el inventario de seguridad es de 28 unidades. El costo total, C, de este sistema es:

$$C = \frac{75}{2}(\$15) + \frac{936}{75}(\$45) + 28(\$15) = \$562.50 + \$561.60 + \$420.00 = \$1{,}544.10$$

OM Explorer tiene dos *solver* de hoja de cálculo que se pueden usar para analizar sistemas Q cuando la demanda y el tiempo de espera son inciertos. El *Demand During the Protection Interval Simulator* se usa para desarrollar la distribución de probabilidad para el intervalo de protección, a partir de la cual se puede elegir un valor apropiado de R para un nivel de servicio de ciclo determinado. Una vez que se han identificado el punto de reorden y la cantidad de pedido, el sistema Q se simula usando el Q *System Simulator*. (El problema resuelto 8 muestra una aplicación de este *solver*).

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
Simulación												
		Demanda por periodo en el intervalo de protección										
Ciclo de inventario	Tiempo de espera (# periodos)	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	Periodo 8	Periodo 9	Periodo 10	Total durante el intervalo de protección
1	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
2	2	23	18	0	0	0	0	0	0	0	0	41
3	2	23	26	0	0	0	0	0	0	0	0	49
4	1	18									0	18
5	1	10									0	10
6	2	18									0	36
7	1	10									0	10
8	1	10									0	10
9	1	18									0	18
10	2	13									0	36
11	1	13									0	13
12	3	23									0	54
13	2	23	10	0	0	0	0	0	0	0	0	33
14	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
15	2	18	23	0	0	0	0	0	0	0	0	41
16	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
17	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
18	1	18	0	0	0						0	18
19	2	26	13	0	0						0	39
20	2	23	10	0	0						0	33
21	2	18	23	0	0						0	41
22	1	23	0	0	0						0	23
23	1	23	0	0	0						0	23
24	3	18	23	23	0	0	0	0	0	0	0	64
25	2	18	18	0	0	0	0	0	0	0	0	36
26	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
27	3	18	26	18	0	0	0	0	0	0	0	62
28	3	18	18	18	0	0	0	0	0	0	0	54
29	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
30	2	23	18	0	0	0	0	0	0	0	0	41
31	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
32	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
33	3	10	23	18	0	0	0	0	0	0	0	51
34	3	13	18	18	0	0	0	0	0	0	0	49
35	2	26	18	0	0	0	0	0	0	0	0	44
36	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
37	2	13	23	0	0	0	0	0	0	0	0	36
38	2	18	18	0	0	0	0	0	0	0	0	36
39	4	18	13	10	18	0	0	0	0	0	0	59
40	2	23	26	0	0	0	0	0	0	0	0	49
41	2	13	18	0	0	0	0	0	0	0	0	31
42	2	18	10	0	0	0	0	0	0	0	0	28
43	1	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
44	2	18	18	0	0	0	0	0	0	0	0	36
45	2	13	26	0	0	0	0	0	0	0	0	39

Para obtener la demanda por periodo, es necesario usar la **función buscar valor.** Con esta función, el valor de demanda correspondiente se basará en el número aleatorio y coincidencia de ese número con la distribución de probabilidad de la demanda.
Escriba la fórmula: **IF($S4>=1,VLOOKUP(G4,$B$4:$C$8,2).0)** en la celda T4.
Esta fórmula buscará el valor en el rango inferior de probabilidad y las unidades de demanda asignadas a cada probabilidad. Las unidades demandadas se asignarán con base en el valor del número aleatorio en el periodo específico. Copie esta relación en las celdas T4:AC503. La entrada en la celda U4 debe ser: **IF($S4>=2,VLOOKUP(H4,$B$4:$C$8,2).0)**.

La demanda total es simplemente la suma de la demanda en cada periodo individual, que se puede obtener usando la función de sumatoria: **=SUM(T4:AC4)**
Cópiela y péguela como una fórmula en las celdas AD4:AD503.

FIGURA 12.11 (cont.)

sistema visual
Sistema que permite a los empleados colocar pedidos cuando el inventario alcanza visiblemente una marca determinada.

sistema de dos depósitos
Versión visual del sistema *Q*, en el cual el inventario de un artículo se almacena en dos lugares diferentes.

Sistema de dos depósitos El concepto de un sistema *Q* puede incorporarse a un **sistema visual**, es decir, un sistema que permite a los empleados colocar pedidos cuando el inventario alcanza visiblemente una marca determinada. Los sistemas visuales son fáciles de administrar porque no es necesario llevar registros de la posición de inventario actual. La tasa histórica de utilización puede reconstruirse sencillamente a partir de las órdenes de compra precedentes. Los sistemas visuales están diseñados para usarse con artículos de bajo valor y demanda constante, como tuercas y pernos o artículos de oficina. El exceso de inventario es común, pero el costo por mantenimiento de inventario extra es mínimo porque esos artículos tienen relativamente poco valor.

Una versión visual del sistema *Q* es el **sistema de dos depósitos**, en el cual el inventario de un artículo se almacena en dos lugares diferentes. El inventario se extrae primero de uno de los depósitos. Cuando el primer depósito está vacío, el segundo depósito sirve de respaldo para cubrir la demanda hasta que llega el pedido de reabastecimiento. El hecho de que el primer depósito esté vacío indica la necesidad de hacer un nuevo pedido. Si cerca de los depósitos se colocan formularios de pedido totalmente llenos, los trabajadores pueden enviar uno al departamento de compras o incluso directamente al proveedor. Cuando llega el nuevo pedido, el segundo depósito vuelve a llenarse hasta su nivel normal y el resto se almacena en el primer depósito. El sistema de dos depósitos funciona como un sistema *Q*, y el nivel normal del segundo depósito representa el punto de reorden *R*. Este sistema también puede implementarse con un solo depósito, en el cual se hace una marca en el punto de reorden.

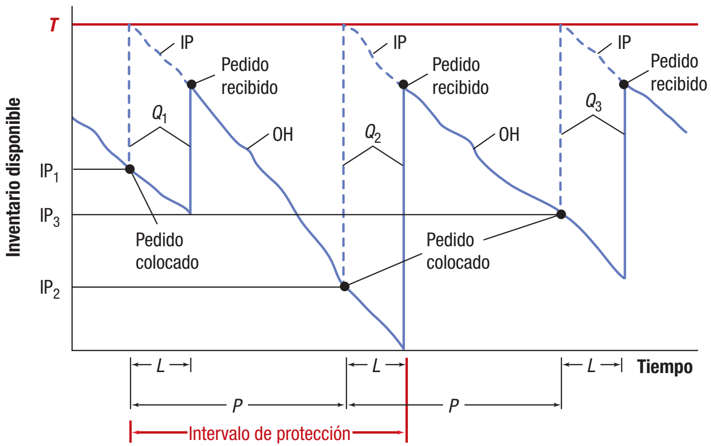
SISTEMA DE REVISIÓN PERIÓDICA

sistema de revisión periódica (*P*)
Sistema en el cual la posición de inventario de un artículo se revisa periódicamente y no en forma continua.

Un sistema alternativo de control de inventario es el **sistema de revisión periódica (*P*)**, conocido a veces como *sistema de reorden a intervalos fijos* o *sistema de reorden periódica*, en el cual la posición de inventario de un artículo se revisa periódicamente y no en forma continua. Un sistema de ese tipo puede simplificar la programación de las entregas porque establece una rutina. Los nuevos pedidos se colocan siempre al final de cada revisión y el tiempo entre pedidos (TBO) tiene un valor fijo de *P*. La demanda es una variable aleatoria, por lo que la demanda total entre revisiones es variable. En un sistema *P*, el tamaño del lote, *Q*, puede cambiar de un pedido a otro, pero el tiempo entre pedidos es fijo. Un ejemplo de un sistema de revisión periódica es el de un proveedor de refrescos que visita semanalmente las tiendas de abarrotes. Cada semana, el proveedor revisa el inventario de refrescos de la tienda y vuelve a aprovisionarla con un volumen de artículos suficiente para satisfacer tanto la demanda como los requisitos de inventario de seguridad, hasta la semana siguiente.

En un sistema *P*, se mantienen cuatro de las suposiciones originales de la EOQ: (1) que no existan restricciones en cuanto al tamaño del lote; (2) que los costos pertinentes sean los de mantenimiento de inventario y los de hacer pedidos; que las decisiones referentes a un artículo sean independientes de las decisiones correspondientes a otros artículos, y (4) que no exista incertidumbre en los tiempos de entrega y se conozca la oferta. Sin embargo, aquí también se tiene en cuenta la incertidumbre en la demanda. Más adelante se tomará en cuenta la incertidumbre en los tiempos de entrega. La figura 12.12 ilustra el sistema de revisión periódica bajo estas suposiciones. La línea con pendiente descendente representa de nuevo el inventario disponible. Cuando el tiempo predeterminado, *P*, ha transcurrido desde la última revisión, se coloca un nuevo pedido para que la posición de inventario, representada por la línea de trazos discontinuos, vuelva al nivel de inventario deseado, *T*. El tamaño del lote para la primera revisión es Q_1, o sea, la diferencia entre la posición de inventario IP_1 y *T*. Igual que en el sistema de revisión continua, IP y OH difieren solamente durante el tiempo de espera. Cuando llega el pedido, al final del tiempo de espera, los valores de OH e IP vuelven a ser idénticos. La figura 12.12 muestra que los tamaños de lote varían de un ciclo de pedido al siguiente. Puesto que la posición de inventario es más baja en la segunda revisión, se necesita una cantidad mayor para alcanzar un nivel de inventario *T*.

FIGURA 12.12
Sistema *P* cuando la demanda es incierta



Determinación de la cantidad por reordenar en un sistema *P* EJEMPLO **12.7**

Un centro de distribución tiene un pedido aplazado de cinco televisores a color de 36 pulgadas. No hay inventario disponible y ha llegado el momento de hacer una revisión. ¿Cuántos televisores será necesario reordenar si $T = 400$ y no hay ningún pedido programado que vaya a recibirse?

SOLUCIÓN

$$\text{IP} = \text{OH} + \text{SR} - \text{BO}$$
$$= 0 + 0 - 5 = -5 \text{ televisores}$$
$$T - \text{IP} = 400 - (-5) = 405 \text{ televisores}$$

Es decir, será necesario pedir 405 televisores para que la posición de inventario vuelva a ser de T televisores.

Selección del tiempo entre revisiones Para manejar un sistema *P*, los gerentes necesitan tomar dos decisiones: la cantidad de tiempo entre revisiones, *P*, y el nivel objetivo del inventario, *T*. Primero se considerará el tiempo entre revisiones, *P*. Éste puede ser cualquier intervalo conveniente, por ejemplo, todos los viernes o cada dos viernes. Otra opción consiste en tomar como base de *P* los trueques de ventajas y desventajas de costos de la EOQ. En otras palabras, *P* puede tener el mismo valor que el tiempo promedio entre pedidos para la cantidad económica de pedido, o sea, TBO_{EOQ}. Debido a que la demanda es variable, algunos pedidos serán mayores que la EOQ y otros serán más pequeños. Sin embargo, a lo largo de un periodo prolongado, el tamaño promedio del lote se aproximará a la EOQ. Si se utilizan otros modelos para determinar el tamaño del lote (por ejemplo, los que se describen en el suplemento D, "Modelos especiales de inventario"), será necesario dividir el tamaño del lote seleccionado entre la demanda anual, *D*, y usar este resultado como *P*. Este último estará expresado como la fracción de un año que transcurre entre los pedidos, la cual puede convertirse después a meses, semanas o días, según se requiera.

Selección del nivel objetivo de inventario cuando la demanda es incierta Ahora se calculará el nivel objetivo de inventario, *T*, cuando la demanda es incierta, pero el tiempo de espera es constante. La figura 12.12 revela que el pedido debe ser suficientemente grande para hacer que la posición de inventario, IP, dure hasta después de la próxima revisión, la cual se encuentra a *P* periodos de tiempo de distancia. El revisor deberá esperar *P* periodos para revisar, corregir y restablecer la posición de inventario. Entonces se colocará un nuevo pedido, pero éste no llegará sino hasta que haya transcurrido el tiempo de espera, *L*. Por lo tanto, tal como se aprecia en la figura 12.12, se necesita un intervalo de protección de $P + L$ periodos. Una diferencia fundamental entre los sistemas *Q* y *P* es el lapso requerido como protección contra el desabasto. Un sistema *Q* sólo requiere dicha protección durante el tiempo de espera, porque los pedidos pueden hacerse en el momento en que se necesitan y serán recibidos *L* periodos después. En cambio, un sistema *P* requiere protección contra el desabasto durante un intervalo $P + L$ más prolongado, porque los pedidos solamente se hacen a intervalos fijos y el inventario no se revisa sino hasta la próxima fecha designada para el efecto.

Igual que con el sistema *Q*, es necesario desarrollar la distribución apropiada de la demanda durante el intervalo de protección, para especificar cabalmente el sistema. En un sistema *P*, debemos desarrollar la distribución de la demanda para $P + L$ periodos. El nivel objetivo de inventario *T* deberá ser igual a la demanda esperada durante el intervalo de protección de $P + L$ periodos, más el inventario de seguridad suficiente para protegerse contra la incertidumbre de la demanda durante ese mismo intervalo de protección. Aquí se aplicarán las mismas suposiciones estadísticas que se plantearon en el caso del sistema *Q*. Así, la demanda promedio durante el intervalo de protección es $d(P + L)$, o sea:

$$T = d(P + L) + \text{Inventario de seguridad para el intervalo de protección}$$

El inventario de seguridad para un sistema *P* se calcula de manera muy similar a como se hizo en el caso del sistema *Q*. Sin embargo, este inventario de seguridad tendrá que cubrir la incertidumbre de la demanda por un periodo de tiempo más largo. Cuando se usa una distribución de probabilidad normal, se multiplican las desviaciones estándar deseadas para implementar el nivel de servicio de ciclo, *z*, por la desviación estándar de la demanda en el curso del intervalo de protección, σ_{P+L}. El valor de *z* es el mismo que en el caso de un sistema *Q* con el mismo nivel de servicio de ciclo. Por consiguiente:

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{P+L}$$

Aplicando la misma lógica que se empleó anteriormente para calcular σ_L, se sabe que la desviación estándar de la distribución de la demanda durante el intervalo de protección es:

$$\sigma_{P+L} = \sigma_t\sqrt{P+L}$$

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 12.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REVISIÓN PERIÓDICA DE INVENTARIO EN HEWLETT-PACKARD

Hewlett-Packard fabrica computadoras, accesorios y una amplia variedad de dispositivos de instrumentación en más de 100 unidades de negocios separadas. Cada unidad es responsable por el diseño, marketing y fabricación de sus propios productos, así como de mantener el inventario requerido para atender a sus clientes. En la mayoría de las líneas de negocios de HP, los costos relacionados con el inventario (que incluyen la devaluación, obsolescencia, protección de precios y financiamiento del inventario) son ahora la mayor palanca de control que la organización manufacturera tiene sobre el desempeño empresarial, medido en términos del rendimiento de los activos o el valor económico agregado. El inventario es una de las principales directrices de los costos y el elemento más variable en el balance general.

La mayoría de las unidades de negocios de HP eran ineficientes y mantenían más inventario del que necesitaban para alcanzar el nivel deseado de desempeño en la entrega de productos. A menudo, las unidades aplicaban métodos simplificados, como el análisis ABC, para determinar sus inventarios de seguridad de artículos con demanda independiente, pasando por alto la incertidumbre en la oferta y la demanda, el uso de partes en común, la disponibilidad deseada de los componentes o los costos.

La solución consistió en desarrollar un sistema de revisión periódica que usa metas de disponibilidad de partes e incluye todas las incertidumbres posibles. El sistema, aunque en principio es semejante al sistema *P* descrito en este capítulo, usa ecuaciones complejas para determinar los parámetros del intervalo de revisión y el inventario objetivo. La complejidad se debe a que toma en consideración la incertidumbre tanto de la oferta como de la demanda en la determinación de los inventarios de seguridad.

A pesar de que el sistema podía reducir los inventarios y mejorar el servicio al cliente, no podían realizarse sus beneficios sino hasta que el personal de planeación y compras lo usara en realidad. Debido a que cada unidad de negocios tenía algunas características peculiares, los resultados tenían que ser fácilmente comprensibles y verosímiles, y el sistema tenía que poder configurarse con facilidad en cada situación. En consecuencia, HP desarrolló un asistente de software que permite al usuario introducir datos y costos del producto en un ambiente amigable, desarrolla las ecuaciones para el sistema de revisión periódica y después traduce los resultados según los requerimientos de formato del usuario. El asistente está programado en Excel, lo que permite a los usuarios tener acceso a todas las funciones de Excel para realizar sus propios análisis.

El sistema de revisión periódica y el asistente de software resultaron muy exitosos. Por ejemplo, en la División de Fabricación de Circuitos Integrados de HP, los planificadores redujeron los inventarios en 1.6 millones de dólares y, simultáneamente, mejoró el desempeño en cuanto a entregas puntuales, de 93% a 97%. Entre otros beneficios se cuentan menos apresuramientos, menos desacuerdos sobre la política de operación y más control del sistema de producción. El sistema se usa en una amplia variedad de líneas de productos y zonas geográficas en todo el mundo. HP cree que no hay duda de que el sistema ha producido operaciones más eficientes en las divisiones.

Fuentes: Brian Cargille, Steve Kakouros y Robert Hall, “Part Tool, Part Process: Inventory Optimization at Hewlett-Packard Co”, *OR/MS/TODAY,* octubre de 1999, pp. 18–24; Gianpaolo Callioni, Xavier de Montgros, Regine Slagmulder, Luk N. Van Wassenhove, y Linda Wright, “Inventory-Driven Costs”, *Harvard Business Review,* marzo de 2005, pp. 135–141.

Por el hecho de que un sistema *P* requiere un inventario de seguridad para cubrir la incertidumbre de la demanda durante un periodo de tiempo más largo que un sistema *Q*, el sistema *P* requiere más inventario de seguridad; es decir, σ_{P+L} es superior a σ_L. Por lo tanto, para aprovechar las ventajas de un sistema *P*, es necesario que los niveles de inventario en general sean un poco más altos que los de un sistema *Q*.

Cálculo de lo costos totales del sistema *P* Los costos totales del sistema *P* son la suma de los mismos tres elementos de costos que en el sistema *Q*. Las diferencias residen en el cálculo de la cantidad de pedido y el inventario de seguridad. Como se muestra en la figura 12.12, la cantidad promedio de pedido será el consumo promedio del inventario durante los periodos *P* entre pedidos. En consecuencia, $Q = dP$. Los costos totales del sistema *P* son:

$$C = \frac{dP}{2}(H) + \frac{D}{dP}(S) + Hz\sigma_{P+L}$$

La práctica administrativa 12.2 muestra cómo Hewlett-Packard implementó un sistema de revisión periódica de inventario en muchas de sus unidades de negocios.

EJEMPLO 12.8 Cálculo de *P* y *T*

Regresemos una vez más al ejemplo del comedero para pájaros. Recuerde que la demanda de este artículo está distribuida normalmente, con una media de 18 unidades por semana y una desviación estándar de 5 unidades en la demanda semanal. El tiempo de espera es de 2 semanas y el negocio trabaja 52 semanas al año. El sistema *Q* desarrollado en el ejemplo 12.6 requería una EOQ de 75 unidades y un inventario de seguridad de 9 unidades para alcanzar un nivel de servicio de ciclo de 90%. ¿Cuál es el sistema P equivalente? ¿Cuál es el costo total? Las respuestas tendrán que redondearse al número entero más próximo.

SOLUCIÓN

Primero se definirá *D* y después *P*. En este caso, *P* es el tiempo transcurrido entre dos revisiones, expresado como un múltiplo (o fracción) del intervalo de tiempo *t* (*t* = 1 semana porque los datos están expresados en términos de demanda *por semana*):

$$D = (18 \text{ unidades/semana})(52 \text{ semanas/año}) = 936 \text{ unidades}$$

$$P = \frac{\text{EOQ}}{D}(52) = \frac{75}{936}(52) = 4.2 \quad \text{o } 4 \text{ semanas}$$

Con d = 18 unidades por semana, también se puede calcular *P* dividiendo la EOQ entre *d* para obtener 75/18 = 4.2, es decir, 4 semanas. Por lo tanto, sería conveniente revisar el inventario de los comederos para pájaros cada 4 semanas. Se encontrará ahora la desviación estándar de la demanda durante el intervalo de protección ($P + L = 6$):

$$\sigma_{P+L} = \sigma_t\sqrt{P+L} = 5\sqrt{6} = 12 \text{ unidades}$$

Antes de calcular *T*, también se necesita un valor de *z*. Para un nivel de servicio de ciclo de 90%, $z = 1.28$ (véase el apéndice Distribución normal). Ahora resolvemos para *T*:

$$T = \text{Demanda promedio durante el intervalo de protección} + \text{Inventario de seguridad}$$
$$= d(P + L) + z\sigma_{P+L}$$
$$= (18 \text{ unidades/semana})(6 \text{ semanas}) + 1.28(12 \text{ unidades}) = 123 \text{ unidades}$$

Cada 4 semanas se pediría el número de unidades necesarias para elevar la posición de inventario IP (contando el nuevo pedido) hasta el nivel objetivo de inventario, que es de 123 unidades. El inventario de seguridad para este sistema *P* es 1.28(12) = 15 unidades.

El costo total del sistema *P* para el comedero para pájaros es de:

$$C = \frac{4(18)}{2}(\$15) + \frac{936}{4(18)}(\$45) + 15(\$15) = \$540 + \$585 + \$225 = \$1{,}350$$

Punto de decisión El sistema *P* requiere 15 unidades en el inventario de seguridad, mientras que el sistema *Q* sólo necesita 9 unidades. Si el costo fuera el único criterio, el sistema *Q* sería la mejor opción para el comedero para pájaros. Como se explicará más adelante, otros factores pueden inclinar la decisión a favor del sistema *P*.



TUTOR 12.5

El tutor 12.5 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para determinar el intervalo de revisión y el inventario objetivo en un sistema *P*.

Selección del nivel objetivo de inventario cuando la demanda y los tiempos de entrega son inciertos El procedimiento para seleccionar el nivel objetivo de inventario cuando la demanda y el tiempo de espera son inciertos se parece al método que se empleó para el sistema de revisión continua. La diferencia es que ahora se debe considerar la demanda durante el intervalo de protección, $P + L$. Usar una simulación por computadora es un método práctico, dadas las distribuciones de probabilidad de la demanda y los tiempos de entrega. El periodo de revisión, *P*, se considera una constante. La simulación procede extrayendo aleatoriamente un tiempo de espera *L* y sumándolo a *P* para obtener el intervalo de protección. En seguida, las demandas se extraen aleatoriamente de la distribución de la demanda de cada periodo en el intervalo de protección. La demanda total se registra y el procedimiento se repite.

Considere los datos del comedero para pájaros que se usaron anteriormente. El ejemplo 12.8 mostró que el mejor intervalo de revisión, *P*, es de cuatro semanas. La figura 12.13 muestra que la distribución de la demanda durante el intervalo de protección para los datos del comedero para pájaros usando el simulador de demanda durante el intervalo de protección en OM Explorer. Se selecciona *T* en la lista de niveles de demanda en la distribución. La probabilidad acumulada de demandas iguales o menores que el valor de *T* seleccionado debe ser igual o superior al nivel de servicio de ciclo deseado. En este ejemplo, el nivel de servicio de ciclo deseado es de 90%; por lo tanto, la mejor opción es $T = 136$. La cantidad de inventario de seguridad requerida para ese nivel de servicio se obtiene restando la demanda promedio durante el intervalo de protección de *T*. En este caso, el inventario de seguridad es de 136 – 108 = 28 unidades.[8]

El costo total del sistema *P* cuando tanto la demanda como el tiempo de espera son inciertos es:

$$C = \frac{4(18)}{2}(\$15) + \frac{936}{4(18)}(\$45) + 28(\$15) = \$540.00 + \$585.00 + \$420.00 = \$1{,}545.00$$

[8]Recuerde que el desarrollo del sistema *Q* con el simulador de demanda durante el intervalo de protección dio por resultado la misma cantidad de inventario de seguridad. Las simulaciones de este tipo deben ejecutarse múltiples veces para poder sacar conclusiones. Típicamente, el inventario de seguridad requerido para un sistema *P* es superior al del sistema *Q*.

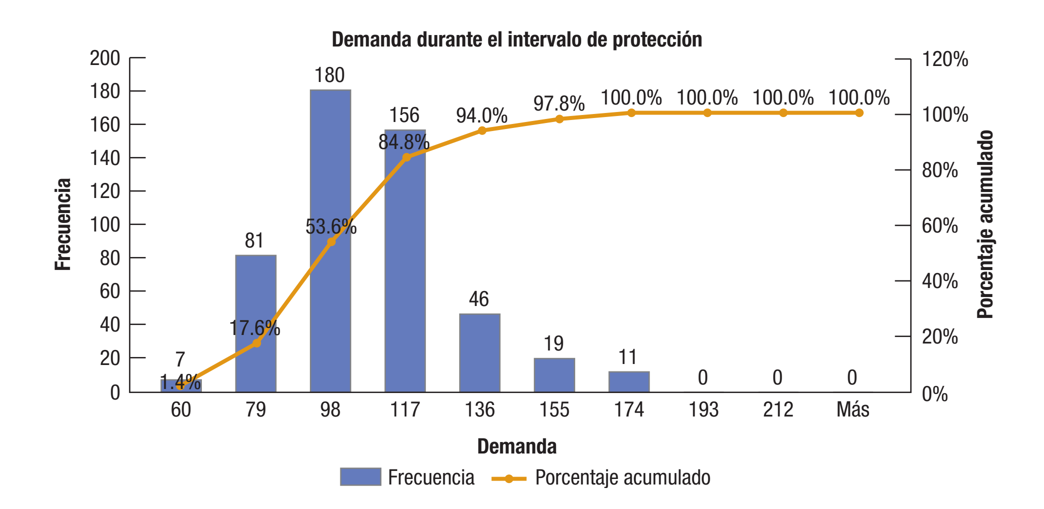
FIGURA 12.13

Distribución de probabilidad de la demanda durante el intervalo de protección para un sistema *P*

Distribución de la demanda durante el intervalo de protección

Límite superior del grupo	Demanda	Frecuencia	Porcentaje acumulado
69	**60**	7	**1.4%**
88	**79**	81	**17.6%**
107	**98**	180	**53.6%**
126	**117**	156	**84.8%**
145	**136**	46	**94.0%**
164	**155**	19	**97.8%**
183	**174**	11	**100.0%**
202	**193**	0	**100.0%**
221	**212**	0	**100.0%**
240	**More**	0	**100.0%**
	Total	**500**	

Demanda promedio durante el intervalo de protección
108



El simulador de demanda durante el intervalo de protección en OM Explorer puede usarse para desarrollar la distribución de la demanda en sistemas de revisión periódica cuando tanto la demanda como el tiempo de espera son inciertos.

sistema de un solo depósito

Sistema de control de inventario en el que se marca un nivel máximo en el anaquel o depósito de almacenamiento, con la ayuda de una vara de medir, y el inventario se repone periódicamente hasta esa marca.

Sistema de un solo depósito El concepto de un sistema *P* puede traducirse en un sencillo sistema visual de control de inventario. En el **sistema de un solo depósito**, se marca un nivel máximo en el anaquel o depósito de almacenamiento, con la ayuda de una vara de medir, y el inventario se repone periódicamente hasta esa marca (por ejemplo, una vez a la semana). El depósito único puede ser, por ejemplo, un tanque de almacenamiento de gasolina en una estación de servicio, o un depósito para el almacenamiento de partes pequeñas en el caso de una planta manufacturera.

VENTAJAS COMPARATIVAS DE LOS SISTEMAS Q Y *P*

Ni el sistema *Q* ni el sistema *P* es el mejor para todas las situaciones. Tres ventajas del sistema *P* deben sopesarse frente a tres ventajas del sistema *Q*. Implícitamente, las ventajas de un sistema son las desventajas del otro.

Las principales ventajas de los sistemas *P* son las siguientes:

1. El sistema es práctico y cómodo porque el reabastecimiento se realiza a intervalos fijos. Los empleados pueden dedicar regularmente un día o algunas horas para concentrarse en esta tarea específica. Los intervalos fijos de reabastecimiento también permiten estandarizar los tiempos de recolección y entrega.
2. Los pedidos de múltiples artículos de un mismo proveedor pueden combinarse en una sola orden de compra. Este método reduce los costos por hacer pedidos y los de transporte, y es posible que el proveedor otorgue un descuento en el precio a partir de cierta cantidad.
3. Sólo es necesario conocer la posición de inventario, IP, cuando se realiza una revisión (y no continuamente, como en el sistema *Q*). Sin embargo, esta ventaja es discutible cuando las empresas usan sistemas computarizados para llevar sus registros, en los cuales se consigna una transacción cada vez que se recibe o retira cualquier material Cuando los registros de inventario están siempre al corriente, el sistema se conoce como **sistema de inventario perpetuo**.

sistema de inventario perpetuo

Sistema de control de inventario en el que los registros de inventario siempre están al corriente.

Las principales ventajas de los sistemas *Q* son las siguientes:

1. La frecuencia con que se revisa cada artículo puede individualizarse. Al ajustar la frecuencia de revisión según las necesidades de cada artículo, es posible reducir el total de los costos por hacer pedidos y por mantenimiento de inventario.
2. Los tamaños de lote fijos, si son suficientemente grandes, pueden producir descuentos por cantidad. Las limitaciones físicas de la empresa, como la capacidad de carga de los camiones, los métodos de manejo de materiales y el espacio en anaquel, también imponen la necesidad de un tamaño de lote fijo.
3. Los inventarios de seguridad más bajos se traducen en ahorros.

En conclusión, la elección entre los sistemas *Q* y *P* no es totalmente clara. El que alguno de ellos sea mejor que el otro depende de la importancia relativa de sus ventajas en diferentes situaciones.

SISTEMAS HÍBRIDOS

Varios sistemas híbridos de control de inventario reúnen algunas características de los sistemas *P* y *Q*, pero no todas. Se examinarán brevemente dos de estos sistemas: (1) el de reabastecimiento opcional, y (2) el de inventarío base.

Sistema de reabastecimiento opcional Llamado a veces sistema de revisión opcional, min-máx o (*s*, *S*), el **sistema de reabastecimiento opcional** es muy parecido al sistema *P*. Se utiliza para revisar la posición de inventario a intervalos de tiempo fijos y si dicha posición ha disminuido hasta un nivel predeterminado (o más abajo del mismo), hacer un pedido de tamaño variable que cubra las necesidades esperadas. El nuevo pedido es suficientemente grande para llevar de nuevo la posición de inventario a la del inventario objetivo, en forma similar a *T* en el caso del sistema *P*. Sin embargo, no se hacen pedidos después de realizar una revisión, a menos que la posición de inventario haya descendido hasta el nivel mínimo predeterminado. El nivel mínimo actúa como el punto de reorden *R* en un sistema *Q*. Si el objetivo es 100 y el nivel mínimo es 60, el tamaño de pedido mínimo es 40 (o 100 – 60). Como no es necesario realizar revisiones continuas, este sistema resulta particularmente atractivo cuando los costos de revisión y de hacer pedidos son significativos.

sistema de reabastecimiento opcional
Sistema que se utiliza para revisar la posición de inventario a intervalos de tiempo fijos y si dicha posición ha disminuido hasta un nivel predeterminado (o más abajo del mismo), hacer un pedido de tamaño variable que cubra las necesidades esperadas.

Sistema de inventario base En su forma más simple, el **sistema de inventario base** expide una orden de reabastecimiento, *Q*, cada vez que se realiza un retiro, por la misma cantidad que se retiró. Esta política de sustitución de uno por uno mantiene la posición de inventario en un nivel de existencias básico igual a la demanda esperada durante el tiempo de espera, más un inventario de seguridad. Por lo tanto, el nivel de inventario base es equivalente al punto de reorden en un sistema *Q*. Sin embargo, ahora las cantidades de pedido varían para mantener la posición de inventarío en *R* en todo momento. Debido a que esa posición representa la IP más baja posible que permitirá mantener un nivel de servicio especificado, el sistema de inventario base puede usarse para minimizar el inventario de ciclo. De este modo, se hacen más pedidos, pero cada uno de ellos es más pequeño. Este sistema es apropiado para artículos muy costosos, como motores de sustitución para aviones jet. No se maneja un inventario mayor que la demanda máxima esperada hasta que se recibe el pedido de reabastecimiento.

sistema de inventario base
Sistema de control de inventario que expide una orden de reabastecimiento, *Q*, cada vez que se realiza un retiro, por la misma cantidad que se retiró.

PRECISIÓN DE LOS REGISTROS DE INVENTARIO

Independientemente del sistema de inventario que se use, la precisión de los registros es un factor crucial para su éxito. Un método que permite alcanzar y mantener esa precisión consiste en asignar a empleados específicos la responsabilidad de enviar y recibir materiales, y de registrar con precisión cada una de esas transacciones. Un segundo método consiste en guardar el inventario bajo llave para impedir retiros de material no autorizados o sin el debido registro. Este método también ofrece protección contra el almacenamiento del material recién recibido en lugares equivocados, donde podría quedarse perdido durante meses. El **conteo cíclico** es un tercer método en el cual el personal del almacén cuenta físicamente un pequeño porcentaje del número total de artículos todos los días y corrige todos los errores que encuentra. Los artículos clase A son los que cuentan con mayor frecuencia. Un último método, especial para sistemas computarizados, consiste en realizar revisiones lógicas a fin de detectar errores en cada una de las transacciones registradas e investigar a fondo cualquier discrepancia. Dichas discrepancias pueden consistir en: (1) materiales recibidos cuando no hay recepciones programadas; (2) salidas que exceden el saldo actual del inventario disponible, y (3) recepciones que consignan un número de parte inexacto (o inexistente).

conteo cíclico
Método de control de inventario en el cual el personal del almacén cuenta físicamente un pequeño porcentaje del número total de artículos todos los días y corrige todos los errores que encuentra.

Estos métodos permiten mantener la precisión de los registros de inventario dentro de límites aceptables. Un beneficio secundario es que los auditores pueden no exigir los conteos de inventario al final del año si los registros resultan ser suficientemente precisos.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS) 

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

ECUACIONES CLAVE

1. Inventario de ciclo $= \frac{Q}{2}$
2. Inventario en tránsito $= dL$
3. Costo total anual del inventario de ciclo = Costo anual por mantenimiento de inventario + Costo anual por hacer pedidos o de preparación

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

4. Cantidad económica de pedido: $\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$
5. Tiempo entre pedidos, expresado en semanas:

$$\text{TBO}_{\text{EOQ}} = \frac{\text{EOQ}}{D}(52 \text{ semanas/año})$$

6. Posición de inventario = Inventario disponible + Recepciones programadas – Pedidos aplazados

$$\text{IP} = \text{OH} + \text{SR} - \text{BO}$$

7. Sistema de revisión continua:

   Punto de reorden (R) = Demanda promedio durante el intervalo de protección + Inventario de seguridad

   $= dL + z\sigma_L$

   Intervalo de protección = Tiempo de espera (L)

   Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera $= \sigma_L$

   $= \sigma_t \sqrt{L}$

   Cantidad de pedido = EOQ

   Regla de reabastecimiento: ordenar EOQ unidades cuando IP $\leq R$

   Costo total del sistema Q: $C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + Hz\sigma_L$

8. Sistema de revisión periódica:

   Nivel objetivo de inventario (T) = Demanda promedio durante el intervalo de protección + Inventario de seguridad

   $= d(P+L) + z\sigma_{P+L}$

   Intervalo de protección = Tiempo entre pedidos + Tiempo de espera

   $= P + L$

   Intervalo de revisión = Tiempo entre pedidos = P

   Desviación estándar de la demanda durante el intervalo de protección $= \sigma_{P+L} = \sigma_t \sqrt{P+L}$

   Cantidad de pedido = Nivel objetivo de inventario – Posición de inventario = $T - IP$

   Regla de reabastecimiento: cada P periodos, ordenar $T - IP$ unidades

   Costo total del sistema P: $C = \frac{dP}{2}(H) + \frac{D}{dP}(S) + Hz\sigma_{P+L}$

TÉRMINOS CLAVE

administración de inventarios 462
Análisis ABC 469
artículos de demanda independiente 475
cantidad económica de pedido (EOQ) 470
conteo cíclico 489
costo de preparación 464
costo por hacer pedidos 464
costo por mantenimiento de inventario 463
descuento por cantidad 464
dimensionamiento del lote 465
especial 468
estándar 469
intervalo de protección 478
inventario de ciclo 465
inventario de seguridad 465
inventario en tránsito 466
nivel de servicio 478
nivel de servicio de ciclo 478
pedidos abiertos 476
posición de inventario (IP) 476
punto de reorden (R) 476
recepciones programadas (SR) 476
repetibilidad 468
sistema de dos depósitos 484
sistema de inventario base 489
sistema de inventario perpetuo 488
sistema de punto de reorden (R) 475
sistema de reabastecimiento opcional 489
sistema de revisión continua (Q) 475
sistema de revisión periódica (P) 484
sistema de un solo depósito 488
sistema visual 484
tiempo entre pedidos (TBO) 473

PROBLEMA RESUELTO 1

Un centro de distribución tiene una demanda promedio semanal de 50 unidades de uno de sus artículos. Dicho producto está valuado en $650 por unidad. El embarque promedio que llega desde el almacén de la fábrica incluye 350 unidades. El tiempo de espera promedio (incluidos los retrasos de los pedidos y el tiempo de tránsito) es de 2 semanas. El centro de distribución trabaja 52 semanas al año; mantiene una provisión de una semana de material almacenado como inventario de seguridad y no cuenta con inventario de previsión. ¿Cuál es el inventario acumulado promedio que mantiene el centro de distribución?

SOLUCIÓN

Tipo de inventario	Cálculo de la cantidad de inventario promedio	
Ciclo	$\frac{Q}{2} = \frac{350}{2} =$	175 unidades
Seguridad	Provisión de 1 semana =	50 unidades
Previsión	Ninguno	
En tránsito	dL = (50 unidades/semana)(2 semanas) =	100 unidades
	Inventario agregado promedio	= 325 unidades

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

La empresa de encuadernación Booker's Book Bindery divide los artículos de inventario en tres clases, según el valor de consumo. Calcule los valores de utilización de los siguientes artículos de inventario y determine cuál tiene más probabilidades de clasificarse como un artículo A.

Número de parte	Descripción	Cantidad utilizada por año	Valor unitario ($)
1	Cajas	500	3.00
2	Cartulina (pies cuadrados)	18,000	0.02
3	Material para las pastas	10,000	0.75
4	Pegamento (galones)	75	40.00
5	Parte interior de las pastas	20,000	0.05
6	Cinta de refuerzo (metros)	3,000	0.15
7	Signaturas de los pliegos	150,000	0.45

SOLUCIÓN

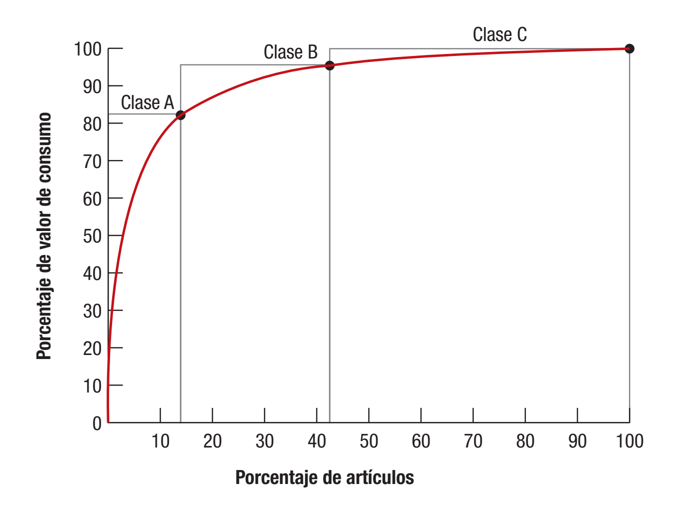
Número de parte	Descripción	Cantidad utilizada por año		Valor unitario ($)		Valor de consumo anual ($)
1	Cajas	500	×	3.00	=	1,500
2	Cartulina (pies cuadrados)	18,000	×	0.02	=	360
3	Material para las pastas	10,000	×	0.75	=	7,500
4	Pegamento (galones)	75	×	40.00	=	3,000
5	Parte interior de las pastas	20,000	×	0.05	=	1,000
6	Cinta de refuerzo (metros)	3,000	×	0.15	=	450
7	Signaturas de los pliegos	150,000	×	0.45	=	67,500
					Total	81,310

El valor de consumo anual de cada artículo se calcula multiplicando la cantidad de consumo anual por el valor unitario. Como se muestra en la figura 12.14, los artículos se clasifican de acuerdo con el valor de consumo, en orden descendente. Por último, las líneas de las clases A–B y B–C se dibujan en forma aproximada, según los lineamientos presentados en el texto. En este caso, la clase A incluye solamente un artículo (las signaturas), que representa apenas 1/7, o 14%, del total de los artículos, pero que constituye 83% del valor de consumo anual. La clase B incluye los dos artículos siguientes, que en conjunto representan 28% del total de los artículos considerados y constituyen 13% del valor de consumo anual. Los últimos cuatro elementos, de clase C, representan más de la mitad del número total de artículos, pero constituyen sólo el 4% del total del valor de consumo anual.

FIGURA 12.14

Valor de consumo anual de artículos de las clases A, B y C, usando el tutor 12.2

Núm. de parte	Descripción	Cant. consumida/año	Valor	Valor de consumo	% del total	% acumulado de valor de consumo	% acumulado del elemento	Clase
7	Signaturas de los pliegos	150,000	$0.45	$67,500	83.0%	83.0%	14.3%	A
3	Material para las pastas	10,000	$0.75	$7,500	9.2%	92.2%	28.6%	B
4	Pegamento	75	$40.00	$3,000	3.7%	95.9%	42.9%	B
1	Cajas	500	$3.00	$1,500	1.8%	97.8%	57.1%	C
5	Parte interior de las pastas	20,000	$0.05	$1,000	1.2%	99.0%	71.4%	C
6	Cinta de refuerzo	3,000	$0.15	$450	0.6%	99.6%	85.7%	C
2	Cartulina	18,000	$0.02	$360	0.4%	100.0%	100.0%	C
Total				$81,310				



PROBLEMA RESUELTO 3

En el ejemplo 12.3, la cantidad económica de pedido, EOQ, es de 75 unidades cuando la demanda anual, D, es de 936 unidades/año, el costo de preparación, S, es de $45 y el costo por mantenimiento de inventario, H, es de $15/unidad/año. Suponga que nos equivocamos al estimar que el costo por mantenimiento de inventario sería de $30/unidad/año.

a. ¿Cuál es la nueva cantidad de pedido, Q, si $D = 936$ unidades/año, $S = \$45$ y $H = \$30$/unidad/año?

b. ¿Cuál es el cambio registrado en la cantidad de pedido, expresado como porcentaje de la cantidad económica de pedido (75 unidades)?

SOLUCIÓN

a. La nueva cantidad de pedido es:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45)}{\$30}} = \sqrt{2{,}808} = 52.99 \quad \text{o} \quad 53 \text{ unidades}$$

b. El cambio en porcentaje es:

$$\left(\frac{53-75}{75}\right)(100) = -29.33 \text{ por ciento}$$

La nueva cantidad de pedido (53) es aproximadamente 29% más pequeña que la cantidad de pedido correcta (75).

PROBLEMA RESUELTO 4

En el ejemplo 12.3, el costo total anual, C, es de $1,124.

a. ¿Cuál es el costo total anual cuando $D = 936$ unidades/año, $S = \$45$, $H = \$15$/unidad/año, y Q es el resultado obtenido en el problema resuelto 3(a)?

b. ¿Cuál es el cambio registrado en el costo total, expresado como porcentaje del costo total ($1,124)?

SOLUCIÓN

a. Considerando 53 como la cantidad de pedido, el costo total anual del inventario de ciclo es:

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) = \frac{53}{2}(\$15) + \frac{936}{53}(\$45) = \$397.50 + \$794.72$$
$$= \$1{,}192.22 \text{ o aproximadamente } \$1{,}192$$

b. El cambio expresado como porcentaje es:

$$\left(\frac{\$1{,}192 - \$1{,}124}{\$1{,}124}\right)(100) = 6.05\% \text{ o aproximadamente } 6\%$$

Un error de 100% en la estimación del costo por mantenimiento de inventario hizo que la cantidad de pedido fuera 29% más pequeña que la cifra correcta y eso, a su vez, incrementó los costos anuales en 6% aproximadamente.

> PROBLEMA RESUELTO 5 <

Un almacén regional compra herramientas manuales a varios proveedores y después las distribuye a vendedores al detalle de la región. El almacén trabaja cinco días por semana y 52 semanas por año. Sólo puede recibir pedidos cuando está en operación. Los siguientes datos son estimaciones aplicables a los taladros manuales de 3/8 de pulgada, con doble aislamiento y velocidades variables.

Demanda diaria promedio = 100 taladros

Desviación estándar de la demanda diaria (σ_t) = 30 taladros

Tiempo de espera (L) = 3 días

Costo por mantenimiento de inventario (H) = \$9.40/unidad/año

Costo por hacer pedidos (S) = \$35/pedido

Nivel de servicio de ciclo = 92%

El almacén utiliza un sistema de revisión continua (Q).

a. ¿Qué cantidad de pedido, Q, y punto de reorden, R, deberán utilizarse?

b. Si el inventario disponible es de 40 unidades, existe un pedido abierto por 440 taladros y ni hay pedidos aplazados, ¿será conveniente hacer un nuevo pedido?

SOLUCIÓN

a. La demanda anual es:

$$D = (5 \text{ días/semana})(52 \text{ semanas/año})\ (100 \text{ taladros/día}) = 26{,}000 \text{ taladros/año}$$

La cantidad de pedido es:

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(26{,}000)(\$35)}{\$9.40}} = \sqrt{193{,}167} = 440.02 \text{ o } 440 \text{ taladros}$$

y la desviación estándar es:

$$\sigma_L = \sigma_t\sqrt{L} = (30 \text{ taladros})\sqrt{3} = 51.96 \text{ o } 52 \text{ taladros}$$

Un nivel de servicio de ciclo de 92% corresponde a $z = 1.41$ (véase el apéndice Distribución normal). Por lo tanto:

Inventario de seguridad = $z\sigma_L$ = 1.41(52 taladros) = 73.38 o 73 taladros

Demanda promedio durante el tiempo de espera = 100(3) = 300 taladros

Punto de reorden = Demanda promedio durante el tiempo de espera + Inventario de seguridad
= 300 taladros + 73 taladros = 373 taladros

Con un sistema de revisión continua, $Q = 440$ y $R = 373$.

b. Posición de inventario = Inventario disponible + Recepciones programadas — Pedidos aplazados

$$\text{IP} = \text{OH} + \text{SR} - \text{BO} = 40 + 440 - 0 = 480 \text{ taladros}$$

Debido a que IP(480) es mayor que R(373), no sería conveniente hacer un nuevo pedido.

> PROBLEMA RESUELTO 6 <

Suponga que en el almacén se emplea un sistema de revisión periódica (P), pero que, en todo lo demás, los datos son los mismos del problema resuelto 5.

a. Calcule el valor de P (en días de trabajo, redondeados al día más próximo) que produzca aproximadamente el mismo número de pedidos por año que la EOQ.

b. ¿Cuál es el valor del nivel objetivo de inventario, T? Compare el sistema P con el sistema Q en el problema resuelto 5.

c. Ha llegado el momento de revisar este artículo. El inventario disponible es de 40 taladros; está programada la recepción de 440 taladros y no existen pedidos aplazados. ¿Qué cantidad de unidades habrá que incluir en el nuevo pedido?

SOLUCIÓN

a. El tiempo entre pedidos es:

$$P = \frac{\text{EOQ}}{D}(260 \text{ días/año}) = \frac{440}{26{,}000}(260) = 4.4 \quad \text{o} \quad 4 \text{ días}$$

b. La figura 12.15 muestra que $T = 812$. El sistema Q correspondiente para el taladro manual requiere menos inventario de seguridad.

c. La posición de inventario es la cantidad disponible, más las recepciones programadas menos los pedidos aplazados, es decir:

$$\text{IP} = \text{OH} + \text{SR} - \text{BO} = 40 + 440 - 0 = 480 \text{ taladros}$$

La cantidad de pedido es el nivel objetivo de inventario menos la posición de inventario, o:

$$Q = T - \text{IP} = 812 \text{ taladros} - 480 \text{ taladros} = 332 \text{ taladros}$$

En un sistema de revisión periódica, la cantidad de pedido para este periodo de revisión es de 331 taladros.

FIGURA 12.15

Solver de OM Explorer para sistemas de inventario

Sistema de revisión continua (Q)

z	1.41
Inventario de seguridad	73
Punto de reorden	373
Costo anual	$4,822.38

Sistema de revisión periódica (P)

Tiempo entre revisiones (P)	4.00 días
	☑ Introducir manualmente
Desviación estándar de la demanda durante el intervalo de protección	79.37
Inventario de seguridad	112
Demanda promedio durante el intervalo de protección	700
Nivel objetivo de inventario (T)	812
Costo anual	$5,207.80

> PROBLEMA RESUELTO 7 <

La ferretería de Zeke vende filtros para calderas. El costo de colocar un pedido con el distribuidor es de $25 y el costo anual por mantener un filtro en inventario es de $2. La demanda promedio por semana de los filtros es de 32 unidades, y la ferretería trabaja 50 semanas por año. La demanda semanal de filtros tiene la siguiente distribución de probabilidad:

Demanda	Probabilidad
24	0.15
28	0.20
32	0.30
36	0.20
40	0.15

El tiempo de espera del distribuidor no se conoce con certeza y tiene la siguiente distribución de probabilidad:

Tiempo de espera (semanas)	Probabilidad
1	0.05
2	0.25
3	0.40
4	0.25
5	0.05

Suponga que Zeke desea usar un sistema P con $P = 6$ semanas y un nivel de servicio de ciclo de 90%. ¿Cuál es el valor que corresponde a T y el costo anual asociado del sistema?

SOLUCIÓN

La figura 12.16 contiene datos producidos con el simulador de demanda durante el intervalo de protección de OM Explorer.

Dado el nivel de servicio de ciclo deseado de 90%, el valor que corresponde a T es 322 unidades. La simulación estimó que la demanda promedio durante el intervalo de protección es de 289 unidades; en consecuencia, el inventario de seguridad es de 322 – 289 = 33 unidades.

El costo anual de este sistema P es de:

$$C = \frac{6(32)}{2}(\$2) + \frac{50(32)}{6(32)}(\$25) + 33(\$2) = \$192.00 + \$208.33 + \$66.00 = \$466.3$$

Distribución de la demanda durante el intervalo de protección

Límite superior del grupo	Demanda	Frecuencia	Porcentaje acumulado
196	**182**	0	**0.0%**
224	**210**	17	**3.4%**
252	**138**	66	**16.6%**
280	**266**	135	**43.6%**
308	**294**	140	**71.6%**
336	**322**	109	**93.4%**
364	**350**	30	**99.4%**
392	**378**	3	**100.0%**
420	**406**	0	**100.0%**
448	**Más**	0	**100.0%**
	Total	**500**	

Demanda promedio durante el intervalo de protección
289

FIGURA 12.16

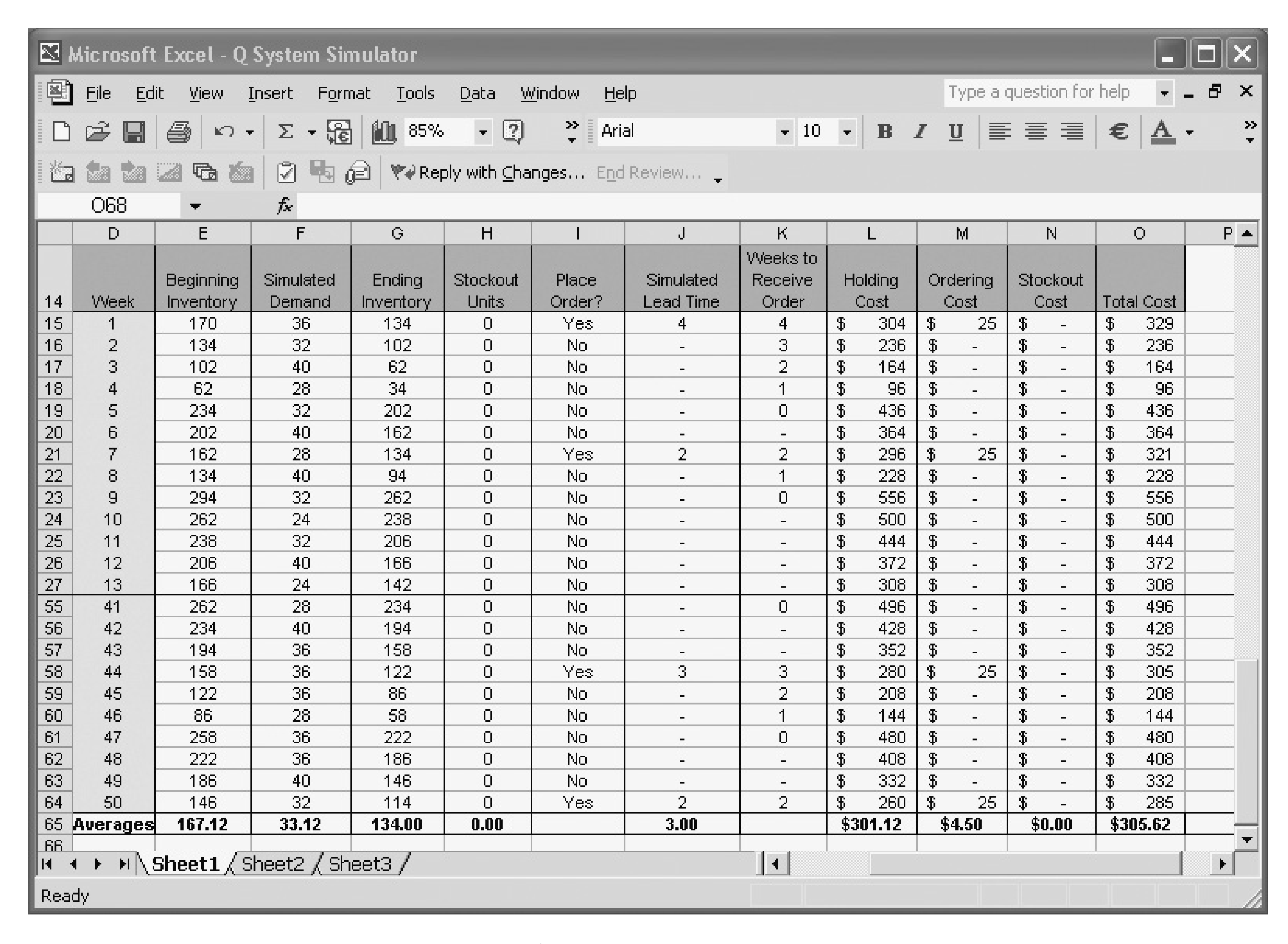
Solver de OM Explorer para calcular la demanda durante el intervalo de protección

> PROBLEMA RESUELTO 8 <

Considere el inventario de Zeke en el problema resuelto 7. Suponga que él desea usar un sistema de revisión continua (Q) para los filtros, con una cantidad de pedido de 200 y un punto de reorden de 140. El inventario inicial es de 170 unidades. Si el costo de desabasto es de $5 por unidad, y todos los demás datos del problema resuelto 7 son los mismos, ¿cuál es el costo esperado por semana de usar el sistema Q?

SOLUCIÓN

La figura 12.17 presenta datos producidos con el simulador del sistema Q de OM Explorer. En la figura sólo se muestran las semanas 1 a 13 y 41 a 50. El costo total promedio por semana es de $305.62. Tenga en cuenta que no se registraron desabastos en esta simulación. Estos resultados dependen del punto de reorden y el tamaño de lote que Zeke elija. Es posible que se presenten desabastos si la simulación se ejecuta en más de 50 semanas.



14	Week	Beginning Inventory	Simulated Demand	Ending Inventory	Stockout Units	Place Order?	Simulated Lead Time	Weeks to Receive Order	Holding Cost	Ordering Cost	Stockout Cost	Total Cost
15	1	170	36	134	0	Yes	4	4	$ 304	$ 25	$ -	$ 329
16	2	134	32	102	0	No	-	3	$ 236	$ -	$ -	$ 236
17	3	102	40	62	0	No	-	2	$ 164	$ -	$ -	$ 164
18	4	62	28	34	0	No	-	1	$ 96	$ -	$ -	$ 96
19	5	234	32	202	0	No	-	0	$ 436	$ -	$ -	$ 436
20	6	202	40	162	0	No	-	-	$ 364	$ -	$ -	$ 364
21	7	162	28	134	0	Yes	2	2	$ 296	$ 25	$ -	$ 321
22	8	134	40	94	0	No	-	1	$ 228	$ -	$ -	$ 228
23	9	294	32	262	0	No	-	0	$ 556	$ -	$ -	$ 556
24	10	262	24	238	0	No	-	-	$ 500	$ -	$ -	$ 500
25	11	238	32	206	0	No	-	-	$ 444	$ -	$ -	$ 444
26	12	206	40	166	0	No	-	-	$ 372	$ -	$ -	$ 372
27	13	166	24	142	0	No	-	-	$ 308	$ -	$ -	$ 308
55	41	262	28	234	0	No	-	0	$ 496	$ -	$ -	$ 496
56	42	234	40	194	0	No	-	-	$ 428	$ -	$ -	$ 428
57	43	194	36	158	0	No	-	-	$ 352	$ -	$ -	$ 352
58	44	158	36	122	0	Yes	3	3	$ 280	$ 25	$ -	$ 305
59	45	122	36	86	0	No	-	2	$ 208	$ -	$ -	$ 208
60	46	86	28	58	0	No	-	1	$ 144	$ -	$ -	$ 144
61	47	258	36	222	0	No	-	0	$ 480	$ -	$ -	$ 480
62	48	222	36	186	0	No	-	-	$ 408	$ -	$ -	$ 408
63	49	186	40	146	0	No	-	-	$ 332	$ -	$ -	$ 332
64	50	146	32	114	0	Yes	2	2	$ 260	$ 25	$ -	$ 285
65	**Averages**	**167.12**	**33.12**	**134.00**	**0.00**		**3.00**		**$301.12**	**$4.50**	**$0.00**	**$305.62**

FIGURA 12.17 | Simulador del sistema *Q* de OM Explorer

> PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN <

1. ¿Cuál es la relación entre el inventario y las nueve prioridades competitivas? Suponga que dos fabricantes competidores, la Compañía H y la Compañía L, son similares en todo, excepto que la Compañía H tiene inversiones mucho más elevadas que la Compañía L en inventarios de materias primas, trabajo en proceso y bienes terminados. ¿En cuál de las nueve prioridades competitivas tiene ventaja la Compañía H?

2. Forme un grupo de discusión en el que cada miembro represente un área funcional diferente de un comerciante detallista. Suponga que es necesario reducir los inventarios de ciclo. Explique las consecuencias de esa decisión para cada área funcional.

3. ¿Llegarán alguna vez las organizaciones al grado de que ya no necesiten inventarios? ¿Por qué sí o no?

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Una parte determinada se produce en lotes de 1,000 unidades. Se fabrica ensamblando dos componentes que valen $50 en total. El valor agregado en la producción (por concepto de mano de obra y gastos generales variables) es de $60 por unidad, con lo cual el costo total por cada unidad terminada es de $110. El tiempo de espera promedio para esta parte es de 6 semanas y la demanda anual es de 3,800 unidades. Hay 50 semanas hábiles por año.

a. ¿Cuántas unidades de esa parte se mantienen, en promedio, en el inventario de ciclo? ¿Cuál es el valor monetario de dicho inventario?
b. ¿Cuántas unidades de dicha parte se mantienen, en promedio, en el inventario en tránsito? ¿Cuál es el valor monetario de este inventario? (*Sugerencia*: Suponga que la parte típica incluida en el inventario en tránsito está terminada en un 50%. Por tanto, la mitad de los costos por mano de obra y gastos generales variables ha sido agregada, lo cual hace que el costo unitario sea de $80, es decir, $50 + $60/2).

2. Prince Electronics, fabricante de artículos electrónicos de consumo, tiene cinco centros de distribución en diferentes regiones del país. En el caso de uno de sus productos, un módem de alta velocidad que tiene un precio de $350 por unidad, la demanda promedio semanal en *cada* centro de distribución es de 75 unidades. El tamaño promedio de los embarques a cada centro de distribución es de 400 unidades y el tiempo de espera promedio es de dos semanas. Cada centro de distribución mantiene una provisión para dos semanas como inventario de seguridad, pero no tiene ningún inventario de previsión.
   a. En promedio, ¿cuál será el valor monetario del inventario en tránsito hacia cada centro de distribución?
   b. ¿Cuánto inventario total (de ciclo, de seguridad y en tránsito) mantiene Prince en sus cinco centros de distribución?

3. Lockwood Industries está considerando la posibilidad de usar el análisis ABC para centrar su atención en los elementos más críticos de su inventario. La siguiente tabla muestra el valor de consumo anual de una muestra aleatoria de ocho elementos. Clasifique los elementos y asígnelos a la clase A, B o C.

Elemento	Valor monetario	Consumo anuale
1	$0.01	1,200
2	$0.03	120,000
3	$0.45	100
4	$1.00	44,000
5	$4.50	900
6	$0.90	350
7	$0.30	70,000
8	$1.50	200

4. Terminator, Inc. fabrica una parte para motocicletas en lotes de 250 unidades. El costo de las materias primas utilizadas en la fabricación de esa parte es de $150 y el valor agregado de los componentes en la manufactura de una unidad es de $300, lo que da un costo total por unidad terminada de $450. El tiempo de espera para fabricar dicha parte es de 3 semanas y la demanda anual es de 4,000 unidades. Suponga que la empresa trabaja 50 semanas por año.
   a. ¿Cuántas unidades de esa parte se mantienen, en promedio, como inventario de ciclo? ¿Cuál es su valor?
   b. ¿Cuántas unidades de esa parte se mantienen, en promedio, como inventario en tránsito? ¿Cuál es su valor?

5. Stock-Rite, Inc. está considerando la posibilidad de aplicar el análisis ABC para concentrar su atención en los elementos más críticos de su inventario. La siguiente tabla muestra el valor unitario y la demanda anual de cada elemento de una muestra aleatoria de ocho elementos. Clasifique por categorías estos elementos, asignándolos a las clases A, B o C.

Código del elemento	Valor unitario	Demanda (unidades)
A104	$40.25	80
D205	80.75	120
X104	10.00	150
U404	40.50	150
L205	60.70	50
S104	80.20	20
X205	80.15	20
L104	20.05	100

6. Yellow Press, Inc. compra papel satinado en rollos de 1,500 libras para imprimir libros de texto. La demanda anual es de 2,500 rollos. El costo por rollo es de $800, y el costo anual por mantenimiento de inventario es el 15% del costo. Cada pedido cuesta $50.
   a. ¿Cuántos rollos debe pedir Yellow Press de una sola vez?
   b. ¿Cuál es el tiempo entre pedidos?

7. Babble, Inc. compra 400 cintas vírgenes de casete cada mes para producir el material de sus cursos de idiomas extranjeros. El costo por hacer pedidos es de $12.50. El costo por mantenimiento de inventario es de $0.12 por casete, por año.
   a. ¿Cuántas cintas deberá pedir Babble de una sola vez?
   b. ¿Cuál es el tiempo entre pedidos?

8. En Dot Com, una importante compañía que vende libros populares al detalle, la demanda de 32,000 libros al año es constante. El costo por hacer un pedido para resurtir el inventario es de $10 y el costo anual por mantenimiento de inventario es de $4 por libro. El material se recibe 5 días hábiles después de haber hecho el pedido. No se permite tener pedidos aplazados. Suponga que la empresa tiene 300 días hábiles al año.
   a. ¿Cuál es la cantidad óptima de pedido para Dot Com?
   b. ¿Cuál es el número óptimo de pedidos al año?
   c. ¿Cuál es el intervalo óptimo entre pedidos (expresado en días laborables)?
   d. ¿Cuál es la demanda durante el tiempo de espera?
   e. ¿Cuál es el punto de reorden?
   f. ¿Cuál es la posición de inventario inmediatamente después de haber colocado un pedido?

9. Leaky Pipe, una tienda local de artículos de plomería, tiene un artículo en su inventario cuya demanda de 30,000 unidades al año es constante. A Leaky Pipe le cuesta $10 procesar un pedido para reabastecer su inventario y $1 por unidad al año mantener dicho artículo en inventario. El material se recibe cuatro días laborables después de la fecha en que se coloca el pedido. No se permite acumular pedidos aplazados. Suponga que la tienda trabaja 300 días al año.
   a. ¿Cuál es la cantidad óptima de pedido para Leaky Pipe?
   b. ¿Cuál es el número óptimo de pedidos al año?
   c. ¿Cuál es el intervalo óptimo entre pedidos (expresado en días laborables)?
   d. ¿Cuál es la demanda durante el tiempo de espera?
   e. ¿Cuál es el punto de reorden?
   f. ¿Cuál es la posición de inventario inmediatamente después de haber colocado un pedido?

10. Sam's Cat Hotel funciona 52 semanas al año, 6 días a la semana, y usa un sistema de inventario de revisión continua. Compra arena higiénica para gatos a $11.70 por bolsa. Se dispone de la siguiente información acerca de esas bolsas:

Demanda = 90 bolsas/semana
Costo por hacer el pedido = $54/pedido
Costo anual por mantenimiento de inventario = 27% del costo
Nivel de servicio de ciclo deseado = 80%
Tiempo de espera = 3 semanas (18 días laborables)
Desviación estándar de la demanda semanal = 15 bolsas
Actualmente, el inventario disponible es de 320 bolsas, sin pedidos abiertos ni aplazados.

a. ¿Cuál es la EOQ? ¿Cuál sería el tiempo promedio entre pedidos (expresado en semanas)?
b. ¿Cuál debe ser el valor de *R*?
c. Se acaba de realizar un retiro de 10 bolsas del inventario. ¿Será éste el momento oportuno para hacer un nuevo pedido?
d. La tienda usa actualmente un tamaño de lote de 500 bolsas (es decir, $Q = 500$). ¿Cuál es el costo anual por mantenimiento de inventario con esta política? ¿Y el costo anual por hacer pedidos? Sin calcular la EOQ, ¿de que manera podría usted deducir, a partir de estos dos cálculos, que el tamaño del lote actual es demasiado grande?
e. ¿Cuál sería el costo anual que podría ahorrarse si el tamaño del lote, en lugar de ser de 500 bolsas fuera equivalente a la EOQ?

11. Considere de nuevo la política de pedidos de arena higiénica para gatos de Sam's Cat Hotel, descrita en el problema 10.

a. Suponga que el pronóstico de la demanda semanal de 90 bolsas es incorrecto y que la demanda real promedia solamente 60 bolsas por semana. ¿Cuánto más alto será el costo total, debido a la distorsión en la EOQ ocasionada por este error de pronóstico?
b. Suponga que la demanda anual es de 60 pares, pero que los costos por hacer pedidos se han reducido a sólo $6, gracias al uso de Internet para automatizar la colocación de pedidos. Sin embargo, el encargado de compras no ha informado a nadie de esto y la EOQ no se ha ajustado para reflejar esta reducción en *S*. ¿Cuánto más alto será el costo total, comparado con lo que sería si la EOQ se hubiera ajustado?

12. En un sistema *Q*, la tasa de demanda de artilugios tiene una distribución normal, con un promedio de 300 unidades *por semana*. El tiempo de espera es de 9 semanas. La desviación estándar de la demanda *semanal* es de 15 unidades.

a. ¿Cuál es la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera de 9 semanas?
b. ¿Cuál es la demanda promedio durante el tiempo de espera de 9 semanas?
c. ¿Qué punto de reorden produce como resultado un nivel de servicio de ciclo de 99%?

13. Petromax Enterprises usa un sistema de control de inventario de revisión continua con uno de los artículos de su inventario. Se dispone de la siguiente información acerca de ese artículo. La empresa trabaja 50 semanas al año.

Demanda = 50,000 unidades/ año
Costo por hacer pedidos = $35/pedido
Costo por mantenimiento de inventario = $2/unidad/año
Tiempo de espera promedio = 3 semanas
Desviación estándar de la demanda semanal = 125 unidades

a. ¿Cuál es la cantidad económica de pedido que corresponde a este artículo?
b. Si Petromax quiere ofrecen un nivel de servicio de ciclo de 90%, ¿cuáles deberían ser su inventario de seguridad y su punto de reorden?

14. En un sistema de inventario perpetuo, el tiempo de espera de unos dispositivos es de cinco semanas. La desviación estándar de la demanda durante el tiempo de espera es de 85 unidades. El nivel de servicio de ciclo deseado es de 99%. El proveedor de los dispositivos ha modernizado sus operaciones y ahora puede ofrecer un tiempo de espera de una semana. ¿En cuánto podrá reducirse el inventario de seguridad sin que se afecte el nivel de servicio de ciclo de 99%?

15. En un sistema de inventario de dos depósitos, la demanda de cachivaches tiene distribución normal durante el tiempo de espera de dos semanas, con un promedio de 53 unidades por semana. La desviación estándar de la demanda semanal es de 5 unidades. ¿Cuál será el nivel de servicio de ciclo que se proporcionará cuando el nivel normal del segundo depósito se ha establecido en 120 unidades?

16. Nationwide Auto Parts usa un sistema de control de inventario de revisión periódica para manejar uno de los artículos de su inventario. El intervalo de revisión es de seis semanas y el tiempo de espera para recibir los materiales pedidos al mayorista es de tres semanas. La demanda semanal presenta una distribución normal, con una media de 100 unidades y una desviación estándar de 20 unidades.

a. ¿Cuáles son el promedio y la desviación estándar de la demanda durante el intervalo de protección?
b. ¿Cuál tendría que ser el nivel objetivo de inventario si la empresa desea contar con una protección de 97.5% contra el desabasto?
c. Si en el momento de realizar cierta revisión periódica hubiera 350 unidades en inventario, ¿cuántas unidades sería conveniente pedir?

17. En un sistema *P*, el tiempo de espera de ciertos artefactos es dos semanas y el periodo de revisión es de una semana. La demanda durante el intervalo de protección es de 218 unidades en promedio, con una desviación estándar de 40 unidades. ¿Cuál será el nivel de servicio de ciclo cuando el nivel objetivo de inventario se ha establecido en 300 unidades?

18. Suponga que usted está a cargo del control de inventario de un producto muy exitoso que vende al público su compañía. La demanda semanal de este artículo varía, con un promedio de 200 unidades y una desviación estándar de 16 unidades. El producto se compra a un mayorista al costo de $12.50 por unidad. El tiempo de espera para la entrega del producto es de 4 semanas. Hacer un pedido cuesta $50 y el costo anual por mantenimiento de inventario representa el 20% del costo del artículo. Su compañía trabaja cinco días a la semana, 50 semanas al año.

a. ¿Cuál es la cantidad óptima de pedido para este artículo?
b. ¿Cuántas unidades del artículo habrá que mantener como inventario de seguridad para tener un 99% de protección contra desabastos durante un ciclo de pedido?
c. Si el tiempo de espera para la entrega del producto pudiera reducirse a dos semanas, ¿cuál sería la disminución porcentual del número de unidades que se mantienen como inventario de seguridad, para seguir teniendo la misma protección de 99% contra la posibilidad de que ocurran desabastos?
d. Si por medio de promociones apropiadas de ventas, la variabilidad de la demanda se redujera a tal grado que la des-

viación estándar de la demanda semanal fuera de 8 unidades, en lugar de 16, ¿cuál sería la reducción porcentual [en comparación con la de la parte (b)] del número de unidades que se mantienen como inventario de seguridad, para tener la misma protección de 99% contra desabasto?

19. Suponga que en Sam's Cat Hotel del problema 10 se usara un sistema *P* en lugar de un sistema *Q*. La demanda promedio diaria es de 15 bolsas (90/6) y la desviación estándar de la demanda *diaria* es de 6.124 bolsas $(15/\sqrt{6})$.

- **a.** ¿Qué valores de *P* (en días laborables) y *T* deberán usarse para aproximarse a las compensaciones en costos que implica la EOQ?
- **b.** ¿Cuánto más inventario de seguridad se necesitará, en comparación con un sistema *Q*?
- **c.** Ha llegado la fecha en que se debe hacer una revisión periódica. ¿Cuánta arena higiénica para gatos será conveniente pedir?

20. Su empresa utiliza un sistema de revisión continua y trabaja 52 semanas al año. Uno de los artículos que maneja tiene las siguientes características:

Demanda (*D*) = 20,000 unidades/año
Costo por hacer pedidos (*S*) = $40/pedido
Costo por mantenimiento de inventario (*H*) = $2/unidad/año
Tiempo de espera (*L*): 2 semanas
Nivel de servicio de ciclo = 95%
La demanda está distribuida normalmente, con una desviación estándar de la demanda *semanal* de 100 unidades.

Actualmente, el inventario disponible es de 1,040 unidades, no hay recepciones programadas ni pedidos aplazados.

- **a.** Calcule la EOQ del artículo. ¿Cuál es el tiempo promedio, en semanas, entre pedidos?
- **b.** Encuentre el inventario de seguridad y el punto de reorden que permitan tener un nivel de servicio de ciclo de 95%.
- **c.** Aplicando esas políticas, ¿cuáles son los costos anuales de: (i) mantener el inventario de ciclo y (ii) hacer pedidos?
- **d.** Acaba de efectuarse un retiro de 15 unidades. ¿Sería oportuno hacer ahora un nuevo pedido? De ser así, ¿qué cantidad sería conveniente pedir?

21. Suponga que su compañía usa un sistema de revisión periódica, pero que, en todo lo demás, los datos son iguales a los del problema 20.

- **a.** Calcule el valor de *P* que produciría aproximadamente el mismo número de pedidos por año que la EOQ. Redondee su respuesta a la semana más próxima.
- **b.** Calcule el inventario de seguridad y el nivel objetivo de inventario que proporcionan un nivel de servicio de ciclo de 95%.
- **c.** ¿Cuánto mayor es ahora el inventario de seguridad que con un sistema *Q*?

22. Una compañía ha iniciado la revisión de las políticas sobre pedidos para su sistema de revisión continua, verificando las políticas actuales con una muestra de artículos. A continuación se presentan las características de uno de esos artículos.

Demanda (*D*) = 64 unidades/semana. (Suponga que hay 52 semanas de trabajo por año).
Costo por hacer pedidos y de preparación (*S*) = $50/pedido
Costo por mantenimiento de inventario
(*H*) = $13/unidad/año
Tiempo de espera (*L*) = 2 semanas
Desviación estándar de la demanda *semanal* = 12 unidades
Nivel de servicio de ciclo = 88%

- **a.** ¿Cuál es la EOQ de este artículo?
- **b.** ¿Cuál es el inventario de seguridad deseado?
- **c.** ¿Cuál es el punto de reorden?
- **d.** ¿Cuáles son las implicaciones en términos de costos si la política actual aplicable a este artículo es *Q* = 200 y *R* = 180?

23. Usando la misma información presentada en el problema 22, formule las mejores políticas para un sistema de revisión periódica.

- **a.** ¿Con qué valor de *P* se obtiene aproximadamente el mismo número de pedidos por año que con la EOQ? Redondee la respuesta a la semana más próxima.
- **b.** ¿Qué inventario de seguridad y nivel objetivo de inventario ofrecen un nivel de servicio de ciclo de 88%?

24. El hospital Wood County consume 1,000 cajas de vendas por semana. El precio de éstas es de $35 por caja, y el hospital funciona 52 semanas al año. El costo de procesamiento de un pedido es de $15 y el costo por mantenimiento de inventario de una caja durante un año es el 15% del valor del material.

- **a.** El hospital pide las vendas en lotes cuyo tamaño es de 900 cajas. ¿En qué costo *adicional* incurre ahora el hospital, que podría ahorrarse si aplicara el método de la EOQ?
- **b.** La demanda tiene una distribución normal, con una desviación estándar de la demanda semanal de 100 cajas. El tiempo de espera es de dos semanas. ¿Qué inventario de seguridad se requerirá si el hospital utiliza un sistema de revisión continua y desea alcanzar un nivel de servicio de ciclo de 97%? ¿Cuál deberá ser el punto de reorden?
- **c.** Si el hospital usa un sistema de revisión periódica con un valor de *P* = 2 semanas, ¿cuál tendría que ser el nivel objetivo de inventario, *T*?

25. Una tienda mayorista, especializada en artículos de golf, trabaja 50 semanas al año. La gerencia está tratando de formular una política de inventarios para sus hierros 1, que tienen las siguientes características:

Demanda (*D*) = 2,000 unidades/año
La demanda presenta una distribución normal
Desviación estándar de la demanda *semanal* = 3 unidades
Costo por hacer pedidos = $40/pedido
Costo anual por mantenimiento de inventario (*H*) = $5/unidad
Nivel de servicio de ciclo deseado = 90%
Tiempo de espera (*L*) = 4 semanas

- **a.** Si la compañía usa un sistema de revisión periódica, ¿qué valores deberá usar para *P* y *T*? Redondee *P* a la semana más próxima.
- **b.** Si la compañía usa un sistema de revisión continua, ¿cuál será el valor de *R*?

PROBLEMAS AVANZADOS

Es conveniente revisar el suplemento B, “Simulación”, antes de trabajar en los problemas 26-29.

26. Office Supply Shop estima que la demanda mensual de bolígrafos tiene la siguiente distribución:

Demanda (miles)	Probabilidad
5	0.1
10	0.3
15	0.4
20	0.1
25	0.1

Además, el tiempo de espera para que el distribuidor entregue los bolígrafos tiene la siguiente distribución:

Tiempo de espera (semanas)	Probabilidad
1	0.2
2	0.4
3	0.2
4	0.1
5	0.1

a. Si la gerencia quiere tener un nivel de servicio de ciclo de 95% en su sistema de revisión continua, ¿cuál tendrá que ser el punto de reorden?
b. ¿Qué cantidad de inventario de seguridad debe mantener?

27. El gerente de una tienda de abarrotes ordena artículos para el cuidado personal a un distribuidor regional cada tres semanas. Un artículo, la pasta de dientes Happy Breath, tiene la siguiente distribución de la demanda semanal:

Demanda	Probabilidad
10	0.08
15	0.12
20	0.35
25	0.25
30	0.20

El servicio que el gerente recibe del distribuidor no ha sido uniforme. El tiempo de espera del reabastecimiento de Happy Breath tiene la siguiente distribución:

Tiempo de espera (semanas)	Probabilidad
1	0.10
2	0.25
3	0.30
4	0.25
5	0.10

a. Si el gerente quiere mantener un nivel de servicio de ciclo de 85% en la pasta de dientes Happy Breath, ¿qué nivel objetivo (T) tendrá que usar?
b. Suponga que el gerente pudiera rediseñar el proceso de colocación de pedidos y trabajar en colaboración estrecha con el distribuidor para que el tiempo de espera sea de 3 semanas constantemente. Es decir, en la tabla correspondiente al tiempo de espera, la probabilidad de que el tiempo de espera sea de tres semanas sería de 1.0, y para todas las demás opciones sería de 0. ¿Cuál sería el nivel de servicio de ciclo para el mismo nivel objetivo de inventario que se obtuvo en la parte (a)?

28. La gerente de una florería vende 2,550 cestas florales por año. Las cestas constituyen un bonito recuerdo para los destinatarios de los arreglos florales. La florería trabaja 50 semanas al año. Las cestas se ordenan a un proveedor cuyos tiempos de espera han sido erráticos en el pasado. El costo de colocar un pedido con el proveedor es de $30, y el costo de mantener una cesta en inventario durante un año es de $1. La gerente ha estimado que el costo para la florería es de $10 por cada cesta que no hay en existencias cuando un cliente la pide.

La distribución de probabilidad para la demanda semanal es la siguiente:

Demanda	Probabilidad
40	0.40
50	0.30
60	0.15
70	0.10
80	0.05

La distribución de los tiempos de espera es:

Tiempo de espera (semanas)	Probabilidad
1	0.3
2	0.4
3	0.2
4	0.1
5	0.0

a. Especifique la cantidad de pedido y el punto de reorden en un sistema de revisión continua que ofrezca por lo menos un nivel de servicio de ciclo de 90%. Use el simulador de demanda durante el intervalo de protección de OM Explorer.
b. Use el simulador del sistema Q de OM Explorer para estimar el costo promedio por día de usar el sistema Q que usted desarrolló. Suponga que el inventario inicial es de 300 cestas.

29. Georgia Lighting Center tiene en inventario más de 3,000 accesorios de iluminación, como candelabros colgantes, plafones, lámparas de pared y reflectores. La tienda vende al detalle, trabaja 6 días a la semana y se anuncia como "el lugar más brillante de la ciudad". Un accesorio costoso se vende a una tasa promedio de 5 unidades al día. Los pedidos de reabastecimiento se basan en una política según la cual $Q = 40$ y $R = 15$. Se hace un nuevo pedido el mismo día que se alcanza el punto de reorden. El tiempo de espera es de 3 días laborables. Por ejemplo, un pedido que se coloca el lunes será entregado el jueves. Simule el desempeño de este sistema Q en las próximas 3 semanas (18 días laborables). Los desabastos se traducen en ventas perdidas (no en pedidos aplazados). El inventario inicial es de 19 unidades y no hay ninguna recepción programada. La tabla 12.3 simula la primera semana de operación. Amplíe la tabla 12.3 para simular las operaciones de las próximas dos semanas, si la demanda de los siguientes 12 días laborables es de 7, 4, 2, 7, 3, 6, 10, 0, 5, 10, 4 y 7.

a. ¿Cuál es el inventario final diario promedio en el transcurso de los 18 días?
b. ¿Cuántos desabastos se registraron?

TABLA 12.3 Primera semana de operación

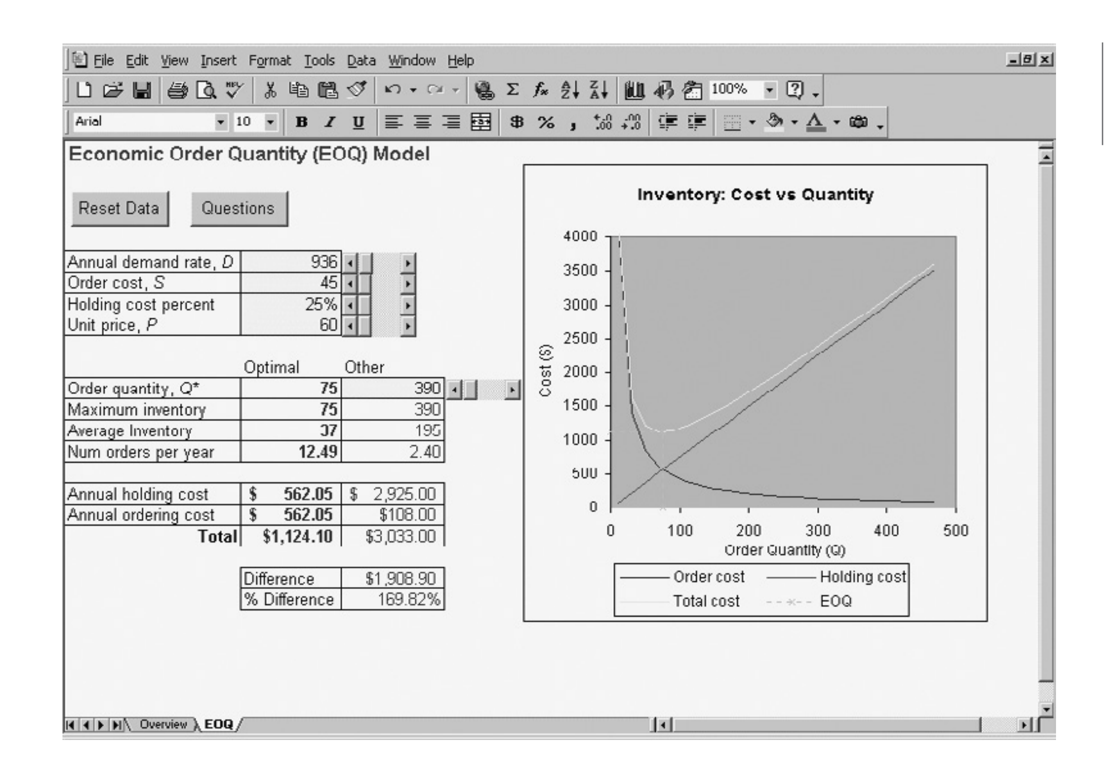
Día laborable	Inventario inicial	Pedidos recibidos	Demanda diaria	Inventario final	Posición de inventario	Cantidad de pedido
1. Lunes	19	—	5	14	14	40
2. Martes	14	—	3	11	51	—
3. Miércoles	11	—	4	7	47	—
4. Jueves	7	40	1	46	46	—
5. Viernes	46	—	10	36	36	—
6. Sábado	36	—	9	27	27	—

> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO <

Este modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante. Le permitirá evaluar la sensibilidad de la EOQ y los costos relacionados ante los cambios en la demanda y los parámetros de costo.

PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la EOQ y cuál es el costo total más bajo?
2. ¿Cuál es el costo anual por mantenimiento de inventario en la EOQ y el costo anual por hacer pedidos de inventario en la EOQ?
3. Con base en el gráfico, ¿qué puede concluir acerca de la relación entre el costo total más bajo y los costos por hacer pedidos y por mantenimiento de inventario?
4. ¿Cuánto aumentará el costo total si el gerente de la tienda ordena comederos para pájaros en una cantidad igual al doble de la EOQ? ¿Cuánto aumentará el costo total si el gerente de la tienda ordena comederos para pájaros en una cantidad igual a la mitad de la EOQ?
5. ¿Qué sucede con la EOQ y el costo total cuando se duplica la demanda? ¿Qué sucede con la EOQ y el costo total cuando el precio unitario aumenta al doble?
6. Desplácese por los valores más bajos del costo por hacer pedidos y describa los cambios en el gráfico. ¿Qué sucede con la EOQ?
7. Comente sobre la sensibilidad del modelo de la EOQ a los errores en la demanda o los estimados en costos.



MODELO ACTIVO 12.1

El modelo de cantidad económica de pedido, usando datos del ejemplo 12.3

APRENDIZAJE POR EXPERIENCIA

Swift Electronic Supply, Inc.

Era una típica tarde de otoño en el sur de California y miles de turistas se dirigían a las playas a pasar un buen rato. Sin embargo, a unos 64 kilómetros de distancia, Steven Holland, Director General de Swift Electronic Supply, Inc., enfrentaba un grave problema con la administración de inventarios de su empresa.

Steven Holland, veterano de Intel, trabajó en la industria de distribución de componentes electrónicos más de 20 años. Hace siete años, fundó Swift Electronic Supply, Inc., un distribuidor de componentes electrónicos. Al cabo de dos prósperos años, los márgenes de utilidad deteriorados empiezan a agobiar a la compañía. La reciente recesión económica empeoró la situación. Factores como el crecimiento del comercio electrónico de empresa a empresa (B2B), la globalización de los mercados, la creciente popularidad de los servicios con valor agregado y las continuas consolidaciones entre distribuidores de componentes electrónicos afectan el futuro de Swift.

Para contrarrestar estas influencias, Holland llamó a una universidad prestigiosa de la zona. Después de realizar las consultas del caso, Holland descubrió que la manera más eficaz de incrementar la rentabilidad era reducir los costos de inventario. Como punto de partida, estudió en detalle un producto representativo, la memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM, por sus siglas en inglés), como base de su plan.

Reseña de la industria y la compañía

Debido al auge en la industria de las telecomunicaciones y la revolución de la tecnología informática, los distribuidores de componentes electrónicos tuvieron un crecimiento anual de dos dígitos en la última década. Para reducir el costo de los equipos de compras directas, los grandes fabricantes de componentes, como Intel, Cisco y Texas Instruments, decidieron subcontratar su proceso de aprovisionamiento para poder concentrarse en el desarrollo y la fabricación de productos. Por lo tanto, los distribuidores independientes de componentes electrónicos, como Swift, empezaron a ofrecer servicios de aprovisionamiento a estas compañías.

Swift atiende a fabricantes de componentes en California y Arizona. Trabaja como intermediario entre sus clientes y los fabricantes extranjeros de equipo original (OEM, del inglés *original equipment manufacturer*) y su modelo de negocios es muy sencillo. Swift pronostica la demanda de los clientes y coloca pedidos con varios OEM, almacena esos productos, divide las cantidades y entrega los productos a los usuarios finales.

Hace poco, debido a la competencia más intensa y la reducción de la demanda, Swift ofreció programas de entrega más flexibles y estaba dispuesto a aceptar pedidos por cantidades pequeñas. Sin embargo, los clientes pueden irse con los competidores de Swift si esta empresa no surte sus pedidos. Steven Holland se encuentra frente a un dilema: los costos intangibles de perder clientes pueden ser formidables; sin embargo, mantener altos niveles de inventario también es muy costoso.

DRAM

Holland se fijó en DRAM como producto representativo. Anteriormente, la compañía pedía una gran cantidad cada vez que lo consideraba necesario. El asistente de Holland creó una tabla (tabla 12.4), que contiene datos históricos de dos meses de demanda. Por la experiencia de Holland, la demanda de DRAM es relativamente estable en la línea de productos de la compañía y no tiene estacionalidad en sus ventas. El personal de ventas coincide en que las condiciones del presente año no serán diferentes de las de años anteriores y la demanda histórica será un buen indicador de lo que se puede esperar en el futuro.

TABLA 12.4 Datos históricos de demanda de DRAM (unidades)

Día	Demanda	Día	Demanda	Día	Demanda
1	869	21	663	41	959
2	902	22	1,146	42	703
3	1,109	23	1,016	43	823
4	947	24	1,166	44	862
5	968	25	829	45	966
6	917	26	723	46	1,042
7	1,069	27	749	47	889
8	1,086	28	766	48	1,002
9	1,066	29	996	49	763
10	929	30	1,122	50	932
11	1,022	31	962	51	1,052
12	959	32	829	52	1,062
13	756	33	862	53	989
14	882	34	793	54	1,029
15	829	35	1,039	55	823
16	726	36	1,009	56	942
17	666	37	979	57	986
18	879	38	976	58	736
19	1,086	39	856	59	1,009
20	992	40	1,036	60	852

Los principales fabricantes de DRAM se localizan en el sureste de Asia. En la actualidad, Swift compra una unidad de DRAM de 64M a $10. Después de negociar con un proveedor acreditado, Holland se las ingenió para firmar un contrato a largo plazo que mantiene el precio en $10 y permite a Swift colocar pedidos en cualquier momento. El proveedor también surte otros artículos del inventario de Swift. Además, el proveedor de DRAM tarda dos días en entregar los productos en el almacén de Swift, usando transporte de carga aéreo.

Cuando Swift no tiene inventario suficiente para surtir el pedido de un cliente, la venta se pierde; es decir, Swift no puede aplazar el pedido para cubrirlo cuando llegue la nueva provisión porque los clientes satisfacen sus necesidades con los competidores. Sin embargo, los clientes se muestran dispuestos a aceptar embarques parciales.

A Swift le cuesta $200 colocar un pedido con los proveedores. Esta cantidad cubre los correspondientes costos internos por hacer pedidos y los costos de entregar los productos a la compañía. Holland calcula que el costo de las ventas perdidas asciende

a $2 por unidad de DRAM. Este cálculo aproximado incluye la pérdida de utilidades, así como el daño intangible a las buenas relaciones con sus clientes.

Para simplificar su sistema de administración de inventarios, Swift ha establecido la política de mantener un nivel de servicio de ciclo de 95%. Se calcula que el costo por mantenimiento de inventario por día, por unidad, es de 0.5% del costo de los bienes, independientemente del producto de que se trate. Los costos por mantenimiento de inventario se calculan con base en el inventario final todos los días. El saldo actual es de 1,700 unidades de DRAM en inventario.

La rutina diaria de compras es la siguiente: los pedidos se colocan al *principio* del día, antes del horario de atención al público de Swift. Los pedidos llegan al principio del día, dos días después, y pueden usarse para las ventas de ese día. Por ejemplo, un pedido colocado al principio del día 1 llegará a Swift antes de que dé inicio la jornada laboral del día 3. La demanda diaria real siempre se registra al *final* del día, después del horario de trabajo de Swift. Todos los cálculos de los costos se realizan al final del día después de haber registrado la demanda total.

Simulación

Holland cree que la simulación es un método útil para evaluar varias alternativas de control de inventario. Los datos históricos de la tabla 12.4 pueden usarse para formular políticas atractivas de inventario. La tabla se preparó para registrar varios costos y evaluar diferentes alternativas. Un ejemplo que muestra algunas de las decisiones recientes sobre el inventario de DRAM se presenta en la tabla 12.5.

1. Diseñe un nuevo sistema de inventario para Swift Electronic Supply, Inc., usando los datos proporcionados.
2. Haga una exposición razonada de su sistema, que debe incluir las reglas de decisión que seguiría para determinar qué cantidad pedir y cuándo pedirla..
3. Simule el uso de su sistema de inventario y registre los costos en la tabla 12.6. Es posible que necesite llevar varias copias de la tabla 12.6 a clase para abarcar todos los periodos de la simulación. Su profesor le proporcionará las demandas reales diarias durante la simulación.

TABLA 12.5 Ejemplo de simulación

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición de inventario inicial	1,700	831	1,500	391	3,000	3,232	2,315			
Cantidad ordenada	1,500		3,000	1,200			1,900			
Demanda diaria	869	902	1,109	947	968	917	1,069			
Inventario al final del día	831	−71	391	−556	2,032	2,315	1,246			
Costos por hacer pedidos ($200 por pedido)	200		200	200			200			
Costos por mantenimiento de inventario ($0.05 por pieza al día)	41.55	0.00	19.55	0.00	101.60	115.75	62.30			
Costos de faltantes ($2 por pieza)	0	142	0	1112	0	0	0			
Costo total para el día	241.55	142.00	219.55	1,312.00	101.60	115.75	262.30			
Costo acumulado del día anterior	0.00	241.55	383.55	603.10	1,915.10	2,016.70	2,132.45			
Costos acumulados a la fecha	241.55	383.55	603.10	1,915.10	2,016.70	2,132.45	2,394.75			

TABLA 12.6 Hoja de evaluación de la simulación

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posición de inventario inicial										
Cantidad ordenada										
Demanda diaria										
Inventario al final del día										
Costos por hacer pedidos ($200 por pedido)										
Costos por mantenimiento de inventario ($0.05 por pieza al día)										
Costos de faltantes ($2 por pieza)										
Costo total para el día										
Costo acumulado del día anterior										
Costos acumulados a la fecha										

CASO

Parts Emporium

Parts Emporium, Inc., fue fundada en 1973 por dos desilusionados mecánicos de automóviles, Dan Block y Ed Spriggs, como una empresa distribuidora mayorista de autopartes. Instalada inicialmente en la cochera de Block, la compañía creció hasta 1976 en forma lenta, pero constante. En ese año, Block y Spriggs se mudaron a un viejo almacén de una empresa empacadora de carne, en la parte sur de Chicago. Al disponer de más espacio para almacenar su inventario, la compañía pudo ofrecer una línea de autopartes más amplia. Un mayor surtido, combinado con la tendencia del público a conservar sus automóviles por más tiempo, dio origen a un explosivo crecimiento de la empresa. En 1998, Parts Emporium ya era el distribuidor independiente de partes para automóviles más grande en la región centronorte de Estados Unidos.

En fechas recientes, Parts Emporium se reinstaló en un nuevo y resplandeciente conjunto de oficinas y almacén, cerca de la carretera interestatal 55, en un suburbio de Chicago. Tan sólo el espacio de almacén ocupa más de 100,000 pies cuadrados. A pesar de que sólo se han añadido unos cuantos productos nuevos desde que se construyó el almacén, la utilización de éste se ha incrementado de 65% a más de 90% de su capacidad. Sin embargo, el crecimiento de las ventas se estancó en ese mismo periodo. Esta situación indujo a Block y Spriggs a contratar, por primera vez en la historia de la compañía, a un gerente de fuera de la empresa.

Hoy es 6 de junio, el primer día que Sue McCaskey ocupa el puesto de gerente de materiales, que acaba de crearse en la empresa Parts Emporium. Recién egresada de una prestigiosa escuela de administración de empresas, McCaskey espera con impaciencia el momento en que habrá de enfrentarse por primera vez a un problema del mundo real. Dicho problema se presenta alrededor de las 8:30 de la mañana, descrito en un informe sobre el estado del inventario y los pedidos embarcados. Al principio de un largo listado de computadora, aparece esta nota escrita a mano por el gerente de compras, Joe Donnell: “Adjuntos a la presente encontrará los datos referentes al desempeño del inventario y el servicio al cliente. Tenga la seguridad de que los niveles individuales de inventario son precisos, porque efectuamos un recuento físico completo de los inventarios al final de la semana pasada. Desafortunadamente, no contamos con registros compilados en algunas de las áreas que solicitó. Sin embargo, está usted en entera libertad de obtenerlos por sí misma. ¡Bienvenida a bordo!”

Un poco molesta por no tener disponible toda la información, McCaskey decide seleccionar al azar una pequeña muestra de aproximadamente 100 artículos y compilar personalmente las características del inventario y el servicio al cliente, para darse una idea del “panorama general”. Los resultados de este experimento le revelan por qué Parts Emporium decidió crear el puesto que ella ocupa ahora. Parece que el inventario está desperdigado por todas partes en los lugares más inadecuados. A pesar de que la empresa cuenta con un *promedio* de aproximadamente 60 días de inventario disponible, el servicio al cliente es insatisfactorio. Parts Emporium trata de aplazar los pedidos de los clientes que no puede surtir de inmediato con las existencias del inventario, pero el resultado es que casi 10% de la demanda se pierde a manos de otros distribuidores de la competencia. En virtud de que el desabasto es muy costoso en relación con los costos por mantenimiento de inventario, McCaskey considera que se tendrá que alcanzar un nivel de servicio de ciclo de por lo menos 95%.

McCaskey sabe que, aunque su influencia para introducir cambios será limitada, tiene que producir resultados positivos de inmediato. Por eso, ha decidido concentrarse en dos productos de la extensa línea de la empresa: el empaque EG151 para escape y la correa de distribución DB032. Si consigue demostrar beneficios significativos derivados de una buena administración del inventario de esos dos productos, tal vez Block y Spriggs le den el respaldo que necesita para modificar el sistema de administración de todo el inventario.

El empaque EG151 para escape se compra en el extranjero, al proveedor Haipei, Inc. La demanda real de este producto durante las primeras 21 semanas de este año se presenta en la siguiente tabla:

Semana	Demanda real	Semana	Demanda real
1	104	12	97
2	103	13	99
3	107	14	102
4	105	15	99
5	102	16	103
6	102	17	101
7	101	18	101
8	104	19	104
9	100	20	108
10	100	21	97
11	103		

Una rápida revisión de los pedidos hechos en el pasado, registrados en otro documento, le indica que se ha usado un tamaño de lote de 150 unidades y que el tiempo de espera de Haipei ha sido de dos semanas casi constantemente. En la actualidad, al final de la semana 21, no existe inventario disponible; hay pedidos aplazados por 11 unidades y se espera una recepción programada de 150 unidades.

La correa de distribución DB032 se compra a Bendox Corporation de Grand Rapids, Michigan. La demanda real registrada hasta la fecha durante el año se presenta en la siguiente tabla:

Semana	Demanda real	Semana	Demanda real
11	18	17	50
12	33	18	53
13	53	19	54
14	54	20	49
15	51	21	52
16	53		

Como este producto es nuevo, sólo hay datos disponibles a partir de la fecha de su creación en la semana 11. Actualmente hay 324 unidades disponibles; no existen pedidos aplazados y tampoco se esperan recepciones programadas de mercancía. Se ha utilizado un tamaño de lote de 1,000 unidades y el tiempo de entrega se ha mantenido casi constantemente en tres semanas.

Los precios al mayoreo que Parts Emporium cobra a sus clientes son: $12.99 por el empaque EG151 para escape y $8.89 por la correa de distribución DB032. Como no se ofrecen descuentos por cantidad en estos dos artículos altamente lucrativos, los márgenes brutos basados en las prácticas actuales de compras equivalen a 32% del precio al mayoreo, en el caso del empaque para escape, y a 48% del precio al mayoreo para la correa de distribución.

Parts Emporium estima que el mantenimiento de inventario le cuesta 21% de su inversión en inventario. En este porcentaje se ha tomado en cuenta el costo de oportunidad que implica inmovilizar dinero en el inventario y los costos variables de impuestos, seguros y mermas. En el informe anual se consignan otros gastos del almacén por concepto de servicios públicos, mantenimiento y servicio de la deuda, correspondientes a esta instalación 100,000 pies cuadrados cuya construcción costó $1.5 millones. Sin embargo, McCaskey estima que esos costos de almacén pueden pasarse por alto porque no cambian en todo el rango de políticas de inventario que ella está considerando.

Los costos que Parts Emporium paga por hacer pedidos a sus proveedores se estiman en $20 por pedido, en el caso de los empaques para escape, y $10 por pedido en el de las correas de distribución. En el movimiento de salida, la empresa puede hacer cargos por concepto de reparto. Aunque la mayoría de los clientes recogen las partes que compran en Parts Emporium, algunos pedidos se entregan a domicilio. Para brindar este servicio, Parts Emporium contrata a una compañía local a la tarifa fija de $21.40 por pedido, que se suma a la factura del cliente. McCaskey no está segura de que sea conveniente elevar los costos por hacer pedidos de Parts Emporium con esos cargos por la entrega de mercancía.

PREGUNTAS

1. Póngase en el lugar de Sue McCaskey y prepare un informe detallado para Dan Block y Ed Spriggs, sobre la administración del inventario de los empaques EG151 para escape y las correas de distribución DB032. Asegúrese de presentar un sistema de inventario apropiado y tome en consideración todos los costos pertinentes.
2. Gracias a sus recomendaciones para estos dos artículos, ¿en cuánto se reducirán los costos anuales de inventario de ciclo, de desabasto y por hacer pedidos?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bastow, B. J., "Metrics in the Material World", *APICS—The Performance Advantage*, mayo de 2005, pp. 49–52.

Berlin, Bob, "Solving the OEM Puzzle at Valleylab", *APICS—The Performance Advantage*, marzo de 1997, pp. 58–63.

Callioni, Gianpaolo, Xavier de Montgros, Regine Slagmulder, Luk N. Van Wassenhove y Linda Wright, "Inventory-Driven Costs", *Harvard Business Review,* marzo de 2005, pp. 135–141.

Cannon, Alan R. y Richard E. Crandall, "The Way Things Never Were" *APICS—The Performance Advantage,* enero de 2004, pp. 32–35.

Chikan, A., A. Milne y L. G. Sprague, "Reflections on Firm and National Inventories", Budapest, International Society for Inventory Research, 1996.

Greene, James H., *Production and Inventory Control Handbook*, 3a. edición, Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel*, 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Inventory Management Reprints, Falls Church, VA, American Production and Inventory Control Society, 1993.

Krupp, James A. G., "Are ABC Codes an Obsolete Technology?", *APICS—The Performance Advantage,* abril de 1994, pp. 34–35.

Silver, Edward A., "Changing the Givens in Modeling Inventory Problems: The Example of Just-in-Time Systems", *International Journal of Production Economics*, volumen 26, 1996, pp. 347–351.

Silver, Edward A., D. E. Pyke y Rein Peterson, *Inventory Management, Production Planning, and Scheduling*, 3a. edición, Nueva York, John Wiley & Sons, 1998.

Tersine, Richard J., *Principles of Inventory and Materials Management*, 4a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1994.

Timme, Stephen G. y Christine Williams-Timme, "The Real Cost of Holding", *Supply Chain Management Review,* julio–agosto de 2003, pp. 30–37.



SUPLEMENTO

Modelos especiales de inventario

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este suplemento, usted podrá:

1. Definir los costos pertinentes que deben tomarse en consideración para determinar la cantidad de pedido cuando hay descuentos disponibles.
2. Identificar las situaciones en las que es preferible usar el tamaño de lote económico en lugar de la cantidad económica de pedido.
3. Calcular el tamaño óptimo del lote cuando el reabastecimiento no es instantáneo.
4. Determinar la cantidad óptima de pedido cuando los materiales están sujetos a descuentos por cantidad.
5. Calcular la cantidad de pedido que maximiza las utilidades esperadas en una decisión de inventario para un solo periodo.

Para resolver muchos problemas del mundo real, es necesario matizar algunas de las suposiciones en las que se basa el modelo de la EOQ. En este suplemento se considerarán tres situaciones realistas en las que es preciso ir más allá de la simple formulación de la EOQ.

1. Reabastecimiento no instantáneo. Sobre todo en las situaciones en que las empresas manufactureras usan un proceso continuo para elaborar un material primario, ya sea un líquido, un gas o un polvo, la producción no es instantánea. Por esta razón, el inventario se reabastece en forma gradual, en lugar de hacerse por lotes.
2. Descuentos por cantidad. En este caso, hay tres costos anuales: el costo por mantenimiento de inventario, el costo fijo por hacer pedidos y por la preparación, y el costo de los materiales. Tanto para los proveedores de servicios como para los fabricantes, el costo unitario de los materiales comprados depende a veces de la cantidad de pedido.
3. Decisiones para un periodo. Los comerciantes detallistas y los fabricantes de productos de moda se enfrentan con frecuencia a una situación en la que la demanda es incierta y se presenta en un solo periodo o temporada.

En este suplemento se parte del supuesto de que usted ha leído el capítulo 12, "Administración de inventarios", y el suplemento A, "Toma de decisiones".

> REABASTECIMIENTO NO INSTANTÁNEO <

Si un artículo se produce dentro de la empresa, en lugar de comprarse fuera, las unidades terminadas pueden utilizarse o venderse en cuanto se terminan, sin esperar hasta completar todo un lote. Por ejemplo, un restaurante que hornea su propio pan empieza a usar algunos bollos de la primera hornada desde antes que el panadero termine un lote de cinco bandejas. Así, el inventario de bollos nunca llega al nivel de cinco bandejas completas, como ocurriría si todo el pan llegara al mismo tiempo en un camión enviado por algún proveedor.

La figura D.1 muestra el caso habitual, en el cual la tasa de producción, p, es mayor que la tasa de demanda, d.[1] El inventario de ciclo se acumula con más rapidez de la que ocurre la demanda; es decir, se produce una acumulación de $p - d$ unidades por periodo. Por ejemplo, si la tasa de producción es de 100 unidades diarias y la demanda es de 5 unidades al día, la acumulación será de 95 (o sea, 100 – 5) unidades cada día. Esta acumulación continúa hasta que se ha producido todo el tamaño del lote, Q, después de lo cual el inventario se va agotando a razón de 5 unidades diarias. En el momento en que el inventario llega a 0 comienza el siguiente intervalo de producción. Para que haya congruencia en los cálculos, tamo p como d deben expresarse en unidades del mismo periodo; por ejemplo, en unidades por día o unidades por semana. Aquí se supondrá que están expresadas en unidades por día.

La acumulación $p - d$ continúa durante Q/p días porque Q es el tamaño del lote y cada día se producen p unidades. En el ejemplo, si el tamaño del lote es de 300 unidades, el intervalo de producción será de 3 días (300/100). Para la tasa de acumulación determinada durante el intervalo de producción, el inventario máximo de ciclo, $I_{máx}$, es:

$$I_{máx} = \frac{Q}{p}(p-d) = Q\left(\frac{p-d}{p}\right)$$

El inventario de ciclo ya no es $Q/2$, como ocurría con el método EOQ básico; en cambio, su valor es de $I_{máx}/2$. Estableciendo la ecuación del costo total anual para esta situación de producción, en la cual D es la demanda anual, igual que antes, y d es la demanda diaria, se obtiene lo siguiente:

Costo total anual = Costo anual por mantenimiento de inventario
+ Costo anual por hacer pedidos o de preparación

$$C = \frac{I_{máx}}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) = \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

Tomando como base esta función de costo, el tamaño del lote óptimo, conocido a menudo como **tamaño económico del lote de producción (ELS,** del inglés *economic production lot size*), es el siguiente:

tamaño económico del lote de producción (ELS)
El tamaño óptimo del lote en una situación en que el reabastecimiento no es instantáneo.

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p-d}}$$

FIGURA D.1
Dimensionamiento del lote con reabastecimiento no instantáneo

Inventario disponible
Q
Cantidad de producción
Demanda durante el intervalo de producción
$I_{máx}$
Inventario máximo
p – d
Tiempo
Producción y demanda
Sólo demanda
TBO

[1]Si la demanda y la producción fueran iguales, la producción sería continua y no existiría acumulación del inventario de ciclo. Si la tasa de producción es más baja que la tasa de demanda, se perderán continuamente oportunidades de venta. En este suplemento se parte del supuesto que $p > d$.

Puesto que el segundo término representa una razón mayor que 1, el ELS resulta en un tamaño de lote mayor que la EOQ.

Cálculo del tamaño económico del lote de producción — EJEMPLO D.1

El gerente de planta de una compañía de productos químicos necesita determinar el tamaño del lote correspondiente a una sustancia química en particular que tiene una demanda constante de 30 barriles diarios. La tasa de producción es de 190 barriles por día, la demanda anual totaliza 10,500 barriles, el costo de preparación es de $200, el costo anual por mantenimiento de inventario es de $0.21 por barril y la planta trabaja 350 días al año.

a. Determine el tamaño económico del lote de producción (ELS).

b. Determine el costo anual total por concepto de preparación y mantenimiento de inventario para este artículo.

c. Determine el TBO, es decir, la duración del ciclo, para el ELS.

d. Determine el tiempo de producción por lote.

¿Qué ventajas tiene reducir el tiempo de preparación en 10%?

SOLUCIÓN

a. Resolviendo en primer lugar para el ELS, se obtiene:

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p-d}} = \sqrt{\frac{2(10{,}500)(\$200)}{\$0.21}}\sqrt{\frac{190}{190-30}}$$

$$= 4{,}873.4 \text{ barriles}$$

b. El costo total anual con el ELS es el siguiente:

$$C = \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

$$= \frac{4{,}873.4}{2}\left(\frac{190-30}{190}\right)(\$0.21) + \frac{10{,}500}{4{,}873.4}(\$200)$$

$$= \$430.91 + \$430.91 = \$861.82$$

c. Aplicando la fórmula del TBO al ELS, se obtiene:

$$\text{TBO}_{\text{ELS}} = \frac{\text{ELS}}{D}(350 \text{ días/año}) = \frac{4{,}873.4}{10{,}500}(350)$$

$$= 162.4 \quad \text{o} \quad 162 \text{ días}$$

d. El tiempo de producción durante cada ciclo es equivalente al tamaño del lote dividido entre la tasa de producción:

$$\frac{\text{ELS}}{p} = \frac{4{,}873.4}{190} = 25.6 \quad \text{o} \quad 26 \text{ días}$$



TUTOR D.1

El tutor D.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo de cómo se determina el ELS.



MODELO ACTIVO D.1

El modelo activo D.1 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo del ELS y sus usos.

Punto de decisión Como OM Explorer muestra en la figura D.2, el efecto neto de reducir el costo de preparación en 10% es disminuir el tamaño del lote, el tiempo entre pedidos y el tiempo del ciclo de producción. En consecuencia, los costos totales anuales también se reducen. Esto añade flexibilidad al proceso de manufactura porque los artículos se pueden fabricar más rápido y con menos gasto. La gerencia debe decidir si el costo adicional de mejorar el proceso de preparación vale la mayor flexibilidad y las reducciones en los costos de inventario.

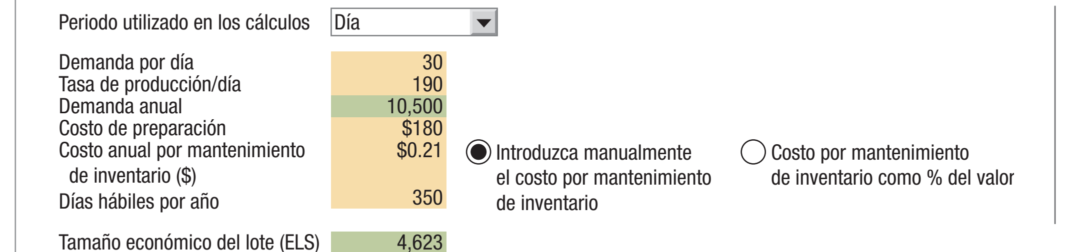


FIGURA D.2

Solver de OM Explorer para el tamaño económico del lote de producción, donde se muestra el efecto de una reducción de 10% en el costo de preparación

DESCUENTOS POR CANTIDAD

Los descuentos por cantidad, que son incentivos de precio para que el cliente compre mayores cantidades, crean presión para mantener un inventario abundante. Por ejemplo, un proveedor puede ofrecer un precio de \$4.00 por unidad para los pedidos entre 1 y 99 unidades; un precio de \$3.50 por unidad para pedidos entre 100 y 199 unidades, y un precio de \$3.00 por unidad para los pedidos de más de 200 unidades. El precio del artículo ya no se considera fijo, como se suponía en la derivación de la EOQ; en cambio, si la cantidad de pedido aumenta lo suficiente, se obtiene un descuento en el precio. Por lo tanto, en este caso se requiere un nuevo método para encontrar el mejor tamaño del lote, es decir, un método que sopese las ventajas de comprar materiales a precios más bajos y tener que hacer menos pedidos (es decir, los beneficios de hacer pedidos por grandes cantidades), frente a la desventaja que implica el incremento del costo por mantenimiento de un inventario mayor.

El costo total anual incluye ahora no sólo el costo por mantenimiento de inventario, $(Q/2)(H)$, y el costo por hacer pedidos, $(D/Q)(S)$, sino también el costo de los materiales comprados. Por cada nivel de precio por unidad, P, el costo total es:

Costo total anual = Costo anual por mantenimiento de inventario
+ Costo anual por hacer pedidos o de preparación
+ Costo anual de materiales

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

El costo unitario por mantenimiento de inventario, H, se expresa habitualmente como un porcentaje del precio unitario, porque cuanto más valioso sea el artículo que se tiene en inventario, tanto más alto será el costo de mantenimiento. Por consiguiente, cuanto más bajo sea el precio unitario, P, tanto más bajo será H. A la inversa, cuanto más alto sea P, tanto más alto será H.

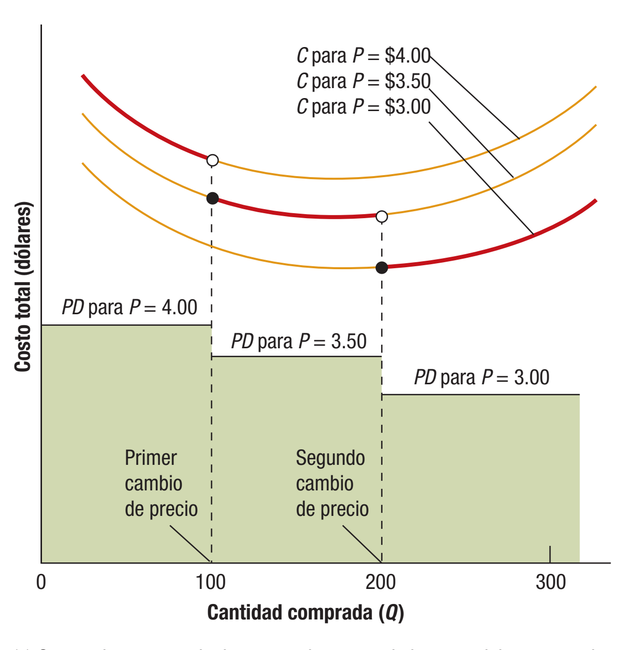
La ecuación del costo total genera curvas de costo total en forma de U. Si el costo anual de materiales se agrega a la ecuación del costo total, cada curva de costo total se eleva en una magnitud fija, como muestra la figura D.3(a). Las tres curvas de costos ilustran cada uno de los niveles de precios. La curva superior es aplicable cuando no se recibe descuento alguno; las curvas inferiores reflejan los niveles de los precios con descuento. Ninguna curva, por sí misma, es aplicable a todas las cantidades compradas. El costo total relevante, o *factible*, comienza con la curva superior y va descendiendo curva por curva, con cada cambio de precio. Se conoce como *cambio de precio* la cantidad mínima necesaria para conseguir un descuento. En la figura D.3 hay dos cambios de precio: uno en $Q = 100$ y el otro en $Q = 200$. El resultado es una curva de costo total, con escalones en los cambios de precio.

La figura D.3(b) también muestra tres puntos adicionales: el punto mínimo sobre cada curva, que se obtiene aplicando la fórmula de la EOQ en cada nivel de precio. Esas EOQ no siempre producen el mejor tamaño de lote, por las dos razones siguientes:

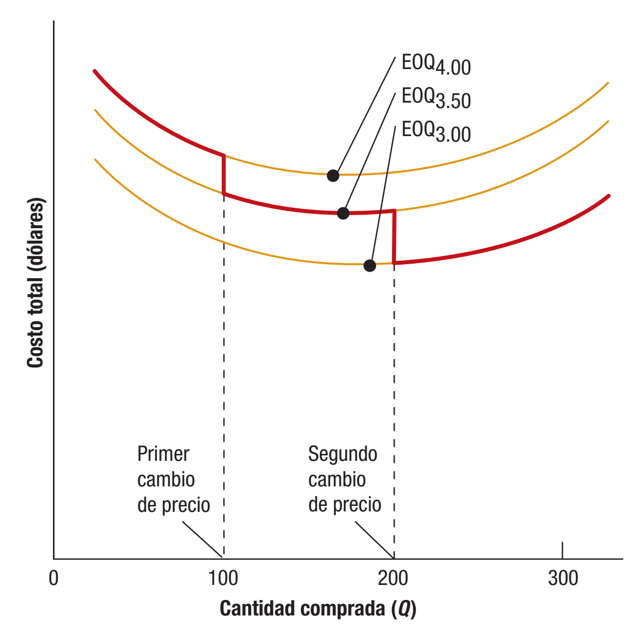
1. Puede ser que la EOQ no resulte factible en un nivel de precio en particular, porque tal vez el tamaño del lote no se encuentra dentro del rango correspondiente a su precio unitario. La figura D.3(b) ilustra dos casos en los cuales la EOQ no es factible. En el primero, el punto mínimo de la curva de \$3.00 parece ser inferior a 200 unidades. Sin embargo, en el programa de descuentos por cantidad propuesto por el proveedor no se permiten compras por una cantidad tan reducida al precio unitario de \$3.00. Asimismo, la EOQ que corresponde al nivel de precio de \$4.00 resulta ser mayor que el valor establecido para el primer cambio de precio, por lo cual el precio que se cobraría sería de sólo \$3.50.
2. La EOQ puede ser factible en un nivel de precio determinado, pero tal vez no sea el mejor tamaño del lote: es posible que la EOQ factible tenga un costo *más alto* del que se obtiene utilizando la EOQ o la cantidad correspondiente al cambio de precio en una curva de precios *más baja*. Por ejemplo, en la figura D.3(b), la cantidad del cambio de precio de 200 unidades para el nivel de precio de \$3.00 tiene un costo total más bajo que la EOQ factible para el nivel de precio de \$3.50. Una EOQ factible siempre es mejor que cualquiera de los puntos factibles en las curvas de costo con niveles de precio más altos, pero no necesariamente es mejor que los de las curvas con niveles más bajos. Así pues, la única ocasión en la que se puede concluir de inmediato que una EOQ factible representa la mejor cantidad de pedido, sin tener que comparar los costos totales, es cuando dicha EOQ se encuentra sobre la curva que corresponde al nivel de precio más bajo de todos. No es posible llegar a esta conclusión en la figura D.3(b), porque la única EOQ factible está en el nivel de precio intermedio, $P = \$3.50$.

Por lo tanto, en la búsqueda del mejor tamaño de lote, se debe prestar atención solamente a las combinaciones factibles de precio y cantidad, ilustradas con las líneas continuas en la figura D.3(b). El siguiente procedimiento en dos pasos puede usarse para hallar el mejor tamaño de lote.[2]

[2]Encontrará otro método que a menudo reduce el número de iteraciones en S. K. Goyal, "A Simple Procedure for Price Break Models", *Production Planning and Control,* volumen 6, número 6, 1995, pp. 584-585.



(a) Curvas de costo total a las que se han sumado los materiales comprados



(b) EOQ y cantidades para el cambio de precio

FIGURA D.3 | Curvas de costo total con descuentos por cantidad

Paso 1. A partir del precio *más bajo* de todos, calcule la EOQ para cada nivel de precio hasta que encuentre una EOQ factible. Sabrá que ésta es factible si se localiza en el rango correspondiente a su precio. Cada EOQ subsiguiente es más pequeña que la anterior porque P, y por lo tanto H, se vuelve cada vez más grande y porque esa H más grande está en el denominador de la fórmula de la EOQ.

Paso 2. Si la primera EOQ factible que encuentre corresponde al nivel de precios *más bajo*, esta cantidad representará el mejor tamaño del lote. Si no es así, calcule el costo total correspondiente a la primera EOQ factible y a la mayor cantidad para el cambio de precio en cada nivel de precio *más bajo*. La cantidad con el costo total más bajo de todos será la óptima.

Cálculo de Q con descuentos por cantidad en Hospital Saint LeRoy — EJEMPLO D.2

Uno de los proveedores del Hospital Saint LeRoy ha presentado su plan de descuentos por cantidad para alentar las compras por mayores cantidades de un catéter especial. El plan de precios propuesto es el siguiente:

Cantidad de pedido	Precio por unidad
0 a 299	$60.00
300 a 499	$58.80
500 o más	$57.00

El hospital ha estimado que su demanda anual de este artículo es de 936 unidades, su costo por hacer pedidos es de $45 por pedido y su costo anual por mantenimiento de inventario representa el 25% del precio unitario del catéter. ¿Qué cantidad de dicho catéter tendrá que pedir el hospital para minimizar sus costos totales? Suponga que el precio por cantidades entre 300 y 499 unidades de reduce a $58.00. ¿Debe cambiar la cantidad de pedido?

TUTOR D.2

El tutor D.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo de cómo se elige la mejor cantidad de pedido cuando se ofrecen descuentos.

MODELO ACTIVO D.2

El modelo activo D.2 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo de descuentos por cantidad y sus usos.

SOLUCIÓN

Paso 1: Encuentre la primera EOQ factible, comenzando con el nivel de precio más bajo:

$$EOQ_{57.00} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45.00)}{0.25(\$57.00)}} = 77 \text{ unidades}$$

Un pedido de 77 unidades cuesta realmente \$60.00 por unidad, en lugar del costo de \$57.00 por unidad que se usó en el cálculo de la EOQ; por lo tanto, esta EOQ no es factible. Intente ahora con el nivel de \$58.80:

$$\text{EOQ}_{58.80} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45.00)}{0.25(\$58.80)}} = 76 \text{ unidades}$$

Esta cantidad tampoco resulta factible, porque un pedido de 76 unidades es demasiado pequeño para que se le aplique el precio de \$58.80. Pruebe con el nivel de precio más alto:

$$\text{EOQ}_{60.00} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(936)(\$45.00)}{0.25(\$60.00)}} = 75 \text{ unidades}$$

Esta cantidad es factible, porque se encuentra dentro del rango correspondiente a su precio, $P = \$60.00$.

Paso 2: La primera EOQ factible de 75 no constituye el nivel de precio más bajo de todos. Por lo tanto, se tiene que comparar su costo total con las cantidades correspondientes al cambio de precio (300 y 500 unidades), en los niveles de precio *más bajos* (\$58.80 y \$57.00):

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

$$C_{75} = \frac{75}{2}[(0.25)(\$60.00)] + \frac{936}{75}(\$45.00) + \$60.00(936) = \$57{,}284$$

$$C_{300} = \frac{300}{2}[(0.25)(\$58.80)] + \frac{936}{300}(\$45.00) + \$58.80(936) = \$57{,}382$$

$$C_{500} = \frac{500}{2}[(0.25)(\$57.00)] + \frac{936}{500}(\$45.00) + \$57.00(936) = \$56{,}999$$

La mejor cantidad de compra es de 500 unidades, con la cual se obtiene el mayor descuento.

Punto de decisión Si el precio por unidad para el rango de 300 a 499 unidades se reduce a \$58.00, la mejor decisión es pedir 300 catéteres, como muestra OM Explorer en la figura D.4. Este resultado indica que la decisión es sensible al plan de precios. Una reducción de poco más de 1% basta para marcar la diferencia en este ejemplo. En general, sin embargo, no siempre ocurre que se deba pedir más que la cantidad económica de pedido cuando se otorgan descuentos en el precio. Cuando los descuentos son pequeños, el costo por mantenimiento de inventario, *H*, es grande, y la demanda, *D*, es pequeña, los tamaños pequeños de lote son mejores aun cuando no se aprovechen los descuentos en el precio.

FIGURA D.4

Solver de OM Explorer para descuentos por cantidad, donde se muestra la mejor cantidad de pedido

Más Menos

Cant. mínima requerida para el precio	Tamaños de lotes	Precio/unidad
...	0–299	\$60.00
300	300–499	\$58.00
500	500 o más	\$57.00

Demanda anual	936
Costo del pedido	\$45
Costo por mantenimiento de inventario (% o precio)	25%
Mejor cantidad de pedido	300

	Precio	EOQ o pedido requerido para obtener el precio	Costo de inventario	Costo del pedido	Costo de compra	Costo total	
	\$60.00	75	\$562.50	\$561.60	\$56,160	\$57,284	
>>	\$58.00	300	\$2,175	\$140.40	\$54,288	\$56,603	<<
	\$57.00	500	\$3,563	\$84.24	\$53,352	\$56,999	

> DECISIONES PARA UN PERIODO <

Uno de los dilemas que encaran muchos minoristas es cómo manejar los artículos de temporada, como los abrigos de invierno. Con frecuencia, éstos no pueden venderse al año siguiente a su precio total a causa de los cambios de estilo. Además, es posible que el tiempo de entrega sea más largo que la temporada de ventas, por lo cual no se dispone de una segunda oportunidad para hacer un pedido urgente, a fin de atender una demanda inesperadamente alta. Los fabricantes de artículos de moda se enfrentan a un problema similar.

Las situaciones de este tipo se describen a menudo como el *problema del vendedor de periódicos*. Si éste no compra suficientes periódicos para revenderlos en la esquina, perderá oportunidades de ventas. En cambio, si compra demasiados ejemplares, no podrá vender los excedentes porque nadie querrá comprar el periódico de ayer.

El siguiente procedimiento es una forma simple de analizar los problemas de ese tipo y decidir cuál es la mejor cantidad de un pedido.

1. Haga una lista de los diferentes niveles de demanda que considere posibles, junto con la probabilidad estimada de cada uno de ellos.
2. Cree una *tabla de resultados* que muestre la utilidad correspondiente a cada cantidad de compra, Q, en cada nivel de demanda supuesto, D. Cada una de las filas de la tabla representa una cantidad de pedido diferente y cada columna representa un nivel de demanda diferente. El resultado correspondiente a una determinada combinación de cantidad y demanda depende de si se venden todas las unidades con el margen normal de utilidad durante la temporada regular, lo que da por resultado dos casos posibles:
   a. Si la demanda es suficientemente alta ($Q \leq D$), todas las unidades se venden con el margen de utilidad total, p, durante la temporada regular:

$$\text{Resultado} = (\text{Utilidad por unidad})(\text{Cantidad comprada}) = pQ$$

   b. Si la cantidad de compra es mayor que la demanda final ($Q > D$), sólo será posible vender D unidades con el margen de utilidad total y todas las demás unidades compradas tendrán que liquidarse con pérdida, l, después de la temporada. En este caso:

$$\text{Resultado} = \begin{pmatrix}\text{Utilidad por unidad vendida}\\ \text{durante la temporada}\end{pmatrix}(\text{Demanda}) - \begin{pmatrix}\text{Pérdida por}\\ \text{unidad}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\text{Cantidad liquidada}\\ \text{después de la temporada}\end{pmatrix}$$
$$= pD - l(Q - D)$$

3. Calcule el resultado esperado en cada Q (o fila de la tabla de resultados), aplicando la regla de decisión del *valor esperado*. Para un valor específico de Q, multiplique primero cada resultado de la fila por la probabilidad de demanda asociada con el resultado, y sume después estos productos.
4. Seleccione la cantidad de pedido Q que produzca el resultado esperado más alto.

Si este proceso de decisión se usa con todos los artículos de este tipo durante muchas temporadas de venta, las utilidades se maximizarán. Sin embargo, éste no es un método infalible y, de vez en cuando, puede producir malos resultados.

Cálculo de Q para decisiones de inventario para un solo periodo

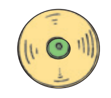
EJEMPLO **D.3**



Uno de los muchos artículos que se venden en un museo de historia natural es un adorno de Navidad tallado en madera. La tienda de regalos obtiene $10 de utilidad por cada unidad de este producto que se vende durante la temporada, pero sufre una pérdida de $5 por cada unidad que no haya logrado vender cuando llega el final de la temporada. Se ha identificado la siguiente distribución de probabilidades discretas para la demanda durante la temporada:

Demanda	10	20	30	40	50
Probabilidad de demanda	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1

¿Cuántos adornos debe pedir la persona a cargo de las compras del museo?



TUTOR D.3

El tutor D.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la decisión de inventario para un solo periodo.

SOLUCIÓN

Cada nivel de demanda es candidato para representar la mejor cantidad de pedido, por lo que la tabla de resultados deberá tener cinco filas. Para la primera fila, en la cual $Q = 10$, la demanda es por lo menos tan grande como la cantidad total de la compra. Así, los cinco resultados correspondientes a esta fila son:

$$\text{Resultado} = pQ = (\$10)(10) = \$100$$



ACTIVE MODEL D.3

El modelo activo D.3 en el CD-ROM del estudiante contiene explicaciones adicionales sobre el modelo de decisión de inventario para un solo periodo y sus usos.

Esta fórmula se puede usar en otras filas, pero únicamente para las combinaciones de cantidad y demanda en las cuales todas las unidades se venden durante la temporada. Dichas combinaciones se encuentran en la porción superior derecha de la tabla de resultados, donde $Q \leq D$. Por ejemplo, el resultado cuando $Q = 40$ y $D = 50$ es:

$$\text{Resultado} = pQ = (\$10)(40) = \$400$$

Los resultados que aparecen en la porción inferior izquierda de la tabla representan combinaciones de cantidad y demanda en las que será necesario liquidar de algunas unidades después de la temporada ($Q > D$). En este caso, el resultado debe calcularse con la segunda fórmula. Por ejemplo, cuando $Q = 40$ y $D = 30$:

$$\text{Resultado} = pD - l(Q - D) = (\$10)(30) - (\$5)(40 - 30) = \$250$$

Con OM Explorer se obtiene la tabla de resultados que se muestra en la figura D.5.

FIGURA D.5

Solver de OM Explorer para decisiones de inventario para un solo periodo, donde se muestra la tabla de resultados

Utilidad	$10.00	(si se vende durante el periodo preferido)
Pérdida	$5.00	(si se vende después del periodo preferido)

Introduzca las posibles demandas junto con la probabilidad de que cada una de ellas ocurra. Use los botones para aumentar o disminuir el número de pronósticos de demanda permitidos. NOTA: Asegúrese de introducir los pronósticos de demanda y las probabilidades en todas las celdas de color; además, compruebe que las probabilidades sumen 1.

< >

Demanda	10	20	30	40	50
Rentabilidad	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1

Tabla de resultados

		Demanda				
		10	20	30	40	50
Cantidad	10	100	100	100	100	100
	20	50	200	200	200	200
	30	0	150	300	300	300
	40	–50	100	250	400	400
	50	–100	50	200	350	500

Ahora calcule el resultado esperado en cada *Q*, multiplicando el resultado de cada cantidad de demanda por la probabilidad de dicha demanda y sumando después los resultados. Por ejemplo, para $Q = 30$:

$$\text{Resultado} = 0.2(\$0) + 0.3(\$150) + 0.3(\$300) + 0.1(\$300) + 0.1(\$300) = \$195$$

Usando OM Explorer, la figura D.6 muestra los resultados esperados.

FIGURA D.6

Solver de OM Explorer que muestra los resultados esperados

Resultados ponderados

Cantidad de pedido	Resultado esperado
10	100
20	170
30	195
40	175
50	140

Resultado esperado mayor	195
Asociado con la cantidad de pedido	30

Punto de decisión En virtud de que $Q = 30$ produce el resultado más alto con $195, puede considerarse que representa la mejor cantidad de pedido. La gerencia puede usar OM Explorer para realizar un análisis de sensibilidad de las demandas y sus probabilidades para comprobar la fiabilidad de esa decisión.

La necesidad de tomar decisiones de inventario para un solo periodo también se presenta en las plantas manufactureras cuando: (1) para atender un solo pedido se fabrican (o compran) artículos personalizados (especiales), *y* (2) las cantidades de material de desperdicio son elevadas.[3] Un artículo especial que se fabrica para atender un solo pedido nunca se mantiene intencionalmente en inventario porque la demanda es demasiado imprevisible. De hecho, es posible que nadie vuelva a pedirlo nunca. Por eso, el fabricante preferiría producir únicamente la cantidad solicitada por el cliente, ni más ni menos. El fabricante preferiría también atender el pedido en una sola tanda de trabajo, para evitar preparaciones adicionales de las máquinas y retrasos en la entrega de los bienes solicitados. Estos dos objetivos pueden ser antagónicos cuando existe una alta probabilidad de que algunas unidades producidas sean desechadas. Suponga que un cliente coloca un pedido de 20 unidades. Si el gerente ordena 20 unidades de la planta de producción o del proveedor, tal vez una o dos de esas unidades tengan que descartarse. Este faltante obligará al gerente a hacer un segundo pedido (o incluso un tercero) para reemplazar las unidades defectuosas. Los reemplazos suelen ser costosos si el tiempo de preparación es considerable, y también pueden provocar demoras en el envío del producto al cliente. Para evitar estos problemas, el gerente podría ordenar más de 20 unidades desde el principio. Si quedan algunas unidades, es posible que el cliente esté dispuesto a comprar las piezas sobrantes o que el gerente les encuentre alguna aplicación dentro de la planta. Por ejemplo, algunas compañías fabricantes han establecido una cuenta especial para materiales obsoletos. Como incentivo para su utilización, otros departamentos de la misma compañía pueden "comprar" estos materiales a un precio inferior a su costo normal.

[3]Uno de los objetivos de la TQM consiste en eliminar el desperdicio. El logro de ese objetivo de la TQM hace discutible esta exposición.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este suplemento.

ECUACIONES CLAVE

1. Reabastecimiento no instantáneo:

Inventario máximo: $I_{\text{máx}} = Q\left(\frac{p-d}{p}\right)$

Costo total anual = Costo anual por mantenimiento de inventario + Costo anual por hacer pedidos o de preparación

$$C = \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)(H) + \frac{D}{Q}(S)$$

Tamaño económico del lote de producción:

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p-d}}$$

Tiempo entre pedidos, expresado en años: $\text{TBO}_{\text{ELS}} = \frac{\text{ELS}}{D}$

2. Descuentos por cantidad

Costo total anual = Costo anual por mantenimiento de inventario + Costo anual por hacer pedidos o de preparación + Costo anual de materiales

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

3. Decisiones para un periodo:

$$\text{Matriz de resultados: Resultado} = \begin{cases} pQ & \text{si } Q \le D \\ pD - l(Q-D) & \text{si } Q > D \end{cases}$$

TÉRMINO CLAVE

Tamaño económico del lote de producción (ELS) 508

PROBLEMA RESUELTO 1

Peachy Keen, Inc. fabrica suéteres de angora, blusas con cuellos de tipo Peter Pan, pantalones pescadores, faldas lanudas y otras prendas populares al estilo de los años 50. La demanda promedio de suéteres de angora es de 100 prendas por semana. La capacidad de producción de la planta de Peachy es de 400 suéteres por semana. El costo de preparación es de $351. El valor del inventario de bienes terminados es de $40 por suéter. El costo anual por mantenimiento de inventario por unidad equivale a 20% del valor del artículo.

a. ¿Cuál es el tamaño económico del lote de producción (ELS)?

b. ¿Cuál es el tiempo promedio entre pedidos (TBO)?

c. ¿Cuál es el total de los costos anuales por concepto de mantenimiento de inventario y preparación?

SOLUCIÓN

a. El tamaño del lote de producción que minimiza el costo total es:

$$\text{ELS} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}\sqrt{\frac{p}{p-d}} = \sqrt{\frac{2(100\times 52)(\$351)}{0.20(\$40)}}\sqrt{\frac{400}{(400-100)}}$$

$$= \sqrt{456{,}300}\sqrt{\frac{4}{3}} = 780 \text{ suéteres}$$

b. El tiempo promedio entre pedidos es:

$$\text{TBO}_{\text{ELS}} = \frac{\text{ELS}}{D} = \frac{780}{5{,}200} = 0.15 \text{ año}$$

Convirtiendo esta cantidad a semanas, se obtiene:

$$\text{TBO}_{\text{ELS}} = (0.15 \text{ año})(52 \text{ semanas/año}) = 7.8 \text{ semanas}$$

c. El total de los costos mínimos por hacer pedidos y por mantenimiento de inventario es:

$$C = \frac{Q}{2}\left(\frac{p-d}{p}\right)(H) + \frac{D}{Q}(S) = \frac{780}{2}\left(\frac{400-100}{400}\right)(0.20 \times \$40) + \frac{5{,}200}{780}(\$351)$$
$$= \$2{,}340/\text{año} + \$2{,}340/\text{año} = \$4{,}680/\text{año}$$

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Un hospital compra paquetes quirúrgicos desechables a la empresa Pfisher, Inc. El plan de precios de Pfisher es de $50.25 por paquete para pedidos de 1 a 199 paquetes, y de $49.00 por paquete para pedidos de 200 paquetes o más. El costo por hacer pedidos es de $64 por pedido y el costo anual por mantenimiento de inventario representa el 20% del precio de compra por unidad. La demanda anual es de 490 paquetes. ¿Cuál es la mejor cantidad de compra?

SOLUCIÓN

Se calculará primero la EOQ al precio *más bajo*:

$$\text{EOQ}_{49.00} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(490)(\$64.00)}{0.20(\$49.00)}} = \sqrt{6{,}400} = 80 \text{ paquetes}$$

Esta solución no es factible porque, de acuerdo con el plan de precios, no se pueden comprar 80 paquetes por el precio de $49 cada uno. Por lo tanto, se calculará la EOQ en el siguiente precio más bajo ($50.25):

$$\text{EOQ}_{50.25} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(490)(\$64.00)}{0.20(\$50.25)}} = \sqrt{6{,}241} = 79 \text{ paquetes}$$

Esta EOQ es factible, pero el precio de $50.25 por paquete no es el más bajo. Por lo tanto, habrá que determinar si el total de costos puede reducirse mediante la compra de 200 unidades, pues así se obtendría un descuento por cantidad.

$$C = \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) + PD$$

$$C_{79} = \frac{79}{2}(0.20 \times \$50.25) + \frac{490}{79}(\$64.00) + \$50.25(490)$$
$$= \$396.98/\text{año} + \$396.98/\text{año} + \$24{,}622.50/\text{año} = \$25{,}416.44/\text{año}$$

$$C_{200} = \frac{200}{2}(0.20 \times \$49.00) + \frac{490}{200}(\$64.00) + \$49.00(490)$$
$$= \$980.00/\text{año} + \$156.80/\text{año} + \$24{,}010.00/\text{año} = \$25{,}146.80/\text{año}$$

La compra de 200 unidades por pedido permitirá ahorrar $269.64 al año aproximadamente, en comparación con la compra de 79 unidades en cada ocasión.

> PROBLEMA RESUELTO 3 <

Swell Productions está patrocinando una reunión al aire libre para propietarios de automóviles Ford clásicos y de colección. En el puesto que ha obtenido en concesión en el área T-Bird, piensa vender camisetas deportivas, faldas lanudas y otros recuerdos de la década de 1950. Esas faldas las compra a la empresa Peachy Keen, Inc., al precio de $40 por unidad y las venderá durante el evento a $75 cada una. Si quedan algunas faldas, podrá devolverlas a Peachy por un reembolso de $30 por cada una. Las ventas de esas faldas dependerán del tiempo, la afluencia de público y otras variables. La siguiente tabla muestra la probabilidad de que se logren diversas cantidades de ventas. ¿Cuántas faldas lanudas debe pedir Swell Productions a Peachy Keen para este evento, que no volverá a repetirse?

Cantidad vendida	Probabilidad	Cantidad vendida	Probabilidad
100	0.05	400	0.34
200	0.11	500	0.11
300	0.34	600	0.05

TABLA D.1 Resultados

	Demanda, *D*						
Q	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**Resultado esperado**
100	$3,500	$3,500	$ 3,500	$ 3,500	$ 3,500	$ 3,500	$ 3,500
200	$2,500	$7,000	$ 7,000	$ 7,000	$ 7,000	$ 7,000	$ 6,775
300	$1,500	$6,000	$10,500	$10,500	$10,500	$10,500	$ 9,555
400	$ 500	$5,000	$ 9,500	$14,000	$14,000	$14,000	$10,805
500	($ 500)	$4,000	$ 8,500	$13,000	$17,500	$17,500	$10,525
600	($1,500)	$3,000	$ 7,500	$12,000	$16,500	$21,000	$ 9,750

SOLUCIÓN

La tabla D.1 muestra la lista de resultados que describe esta decisión de inventario para un solo periodo. La parte superior derecha de la tabla muestra los resultados cuando la demanda, D, es mayor que o igual a la cantidad de pedido, Q. El resultado es igual a la utilidad por unidad (la diferencia entre precio y costo) multiplicada por la cantidad de pedido. Por ejemplo, cuando la cantidad de pedido es 100 y la demanda es 200, el resultado es:

$$\text{Resultado} = (p - c)\,Q = (\$75 - \$40)100 = \$3{,}500$$

La parte inferior izquierda de la tabla muestra los resultados cuando la cantidad de pedido es mayor que la demanda. En este caso, el resultado corresponde a la utilidad obtenida de las ventas, pD, menos la pérdida asociada a la devolución del inventario excedente, $l(Q - D)$, donde l representa la diferencia entre el costo y el monto reembolsado por cada falda lanuda devuelta, y $Q - D$ es el número de faldas devueltas. Por ejemplo, cuando la cantidad de pedido es 500 y la demanda es 200, tenemos lo siguiente:

$$\text{Resultado} = pD - l(Q - D) = (\$75 - \$40)200 - (\$40 - \$30)(500 - 200) = \$4{,}000$$

El resultado esperado más alto se presenta cuando se hace el pedido por 400 faldas:

$$\begin{aligned}\text{Resultado esperado}_{400} &= (\$500 \times 0.05) + (\$5{,}000 \times 0.11) + (\$9{,}500 \times 0.34)\\ &\quad + (\$14{,}000 \times 0.34) + (\$14{,}000 \times 0.11) + (\$14{,}000 \times 0.05)\\ &= \$10{,}805\end{aligned}$$

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo es mejor usarlo. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. Bold Vision, Inc. fabrica cartuchos de tinta para impresoras láser y fotocopiadoras. La tasa de demanda es de 625 cartuchos EP por semana. La tasa de producción es de 1,736 cartuchos EP por semana y el costo de preparación es de $100. El valor del inventario es de $130 por unidad y el costo por mantenimiento representa el 20% del valor del inventario. ¿Cuál es el tamaño económico del lote de producción?

2. Sharpe Cutter es una compañía pequeña que produce cuchillas especiales para maquinaria cortadora de papel. La demanda anual de un tipo particular de cuchilla es de 100,000 unidades. La demanda es uniforme durante los 250 días del año que trabaja la empresa. Sharpe Cutter produce este tipo de cuchillas en lotes y tiene capacidad para fabricar 450 cuchillas diarias, en promedio. El costo de preparación para procesar un lote de producción es de $300 y el costo anual por mantenimiento de inventario es de $1.20 por cuchilla.
   - **a.** Determine el tamaño económico del lote de producción (ELS).
   - **b.** Determine el costo total anual de preparación y mantenimiento de inventario de este artículo.
   - **c.** El TBO, o duración del ciclo, correspondiente al ELS.
   - **d.** Determine el tiempo de producción por lote.

3. Suds's Bottling Company realiza operaciones de embotellado, etiquetado y distribución, para varias cervecerías locales muy pequeñas. La tasa de demanda de la cerveza de Wortman es de 600 cajas (de 24 botellas cada una) por semana. La tasa de

producción de la embotelladora de Suds's es de 2,400 cajas por semana, y el costo de preparación es de $800, El valor de inventario es de $12.50 por caja y el costo anual por mantenimiento de inventario representa el 30% del valor del mismo. ¿Cuál es el tamaño económico del lote de producción?

4. El equipo Bucks Grande de la liga mayor de béisbol rompe en promedio cuatro bates por semana. El equipo compra sus bates de béisbol a Corky's, un fabricante que se distingue porque tiene acceso a la mejor madera maciza. El costo por hacer pedidos es de $70 y el costo anual por mantenimiento de inventario por bate al año representa el 38% del precio de compra. La estructura de precios de Corky's es la siguiente:

Cantidad de pedido	Precio por unidad
0 a 11	$54.00
12 a 143	$51.00
144 o más	$48.50

a. ¿Cuántos bates debe comprar el equipo en cada pedido?
b. ¿Cuáles son los costos totales anuales asociados a la mejor cantidad de pedido?
c. Corky descubre que ha subestimado los costos de preparación, a causa de los procesos especiales de manufactura que requieren los bates de Buck. Entonces, en lugar de elevar los precios, Corky agrega otra categoría a la estructura de precios con el propósito de ofrecer un incentivo para que se hagan pedidos más grandes y, de ese modo, reducir el número de operaciones de preparación necesarias. Si los Bucks deciden comprar 180 bates o más, el precio bajará a $45.00 cada uno. ¿Será conveniente que los Bucks reconsideren la cantidad de pedido y la reajusten a 180 bates?

5. Para aumentar las ventas, Pfisher (véase el problema resuelto 2) ha anunciado una nueva estructura de precios para sus paquetes quirúrgicos desechables. Aunque el cambio de precio ya no es aplicable cuando el pedido es de 200 unidades, Pfisher ofrece ahora un descuento aún mayor para compras en cantidades más grandes. En los pedidos de 1 a 499 paquetes, el precio es de $50.25 por paquete. En los pedidos de 500 o más, el precio por unidad es de $47.80. Los costos por hacer pedidos, los costos anuales por mantenimiento de inventario y la demanda anual siguen siendo, respectivamente, de $64 por pedido, 20% del costo por unidad y 490 paquetes al año. ¿Cuál será el nuevo tamaño del lote?

6. La Librería Universitaria de una prestigiosa institución privada de educación superior compra lapiceros mecánicos a un mayorista. Éste le ofrece descuentos cuando los pedidos son grandes, de acuerdo con la siguiente tabla de precios:

Cantidad de pedido	Precio por unidad
0 a 200	$4.00
201 a 2,000	$3.50
2,001 o más	$3.25

La librería espera una demanda anual de 2,500 unidades. Hacer un pedido le cuesta $10 y el costo anual por mantenimiento de inventario de una unidad es equivalente al 30% del precio de la misma. Determine cuál es la mejor cantidad de pedido.

7. Mac-in-the-Box, Inc. vende equipo de cómputo por teléfono y por correo. Mac vende 1,200 escáneres de cama plana cada año. El costo por hacer pedidos es de $300 y el costo anual por mantenimiento de inventario representa el 16% del precio del artículo. El fabricante del escáner le ha propuesto la siguiente estructura de precios a Mac-in-the-Box:

Cantidad de pedido	Precio por unidad
0 a 11	$520
12 a 143	$500
144 o más	$400

¿Qué cantidad de pedido minimiza los costos anuales totales?

8. Como gerente de inventario, usted tiene que decidir cuál será la cantidad de pedido de un artículo cuya demanda anual es de 2,000 unidades. Cada vez que se hace un pedido, le cuesta $20. Su costo anual por mantenimiento de inventario, expresado como porcentaje del valor promedio de dicho inventario, es de 20%. Su proveedor le ha ofrecido el siguiente plan de precios:

Cantidad mínima de pedido	Precio por unidad
1	$2.50
200	$2.40
300	$2.25
1,000	$2.00

¿Qué política recomendaría usted en materia de pedidos?

9. National Printing Company tiene que decidir cuántos calendarios de pared será conveniente fabricar para venderlos durante la temporada que está por comenzar. Cada calendario se vende a $8.50 y producirlo cuesta $2.50. El distrito escolar local ha accedido a comprar, al precio unitario de $1.50, todos los calendarios que no se vendan. National estima la siguiente distribución de probabilidad de la demanda durante la temporada:

Demanda	Probabilidad
2,000	0.05
3,000	0.20
4,000	0.25
5,000	0.40
6,000	0.10

¿Cuántos calendarios tendrá que producir National para maximizar su utilidad esperada?

10. Los bizcochos de Dorothy se venden recién horneados en varios establecimientos especializados en distintos lugares de Perth. Al cabo de un día de haber sido preparados, los bizcochos tienen que venderse a precios rebajados. La demanda diaria presenta la siguiente distribución:

Demanda	Probabilidad
50	0.25
150	0.50
200	0.25

Cada bizcocho se vende a $1.00 y su elaboración cuesta $0.60. Cada uno de los bizcochos que no se vende al final del día puede venderse al día siguiente a $0.30, como mercancía del día anterior. ¿Cuántos bizcochos deben prepararse cada día?

11. El equipo de los Aggies recibirá al Tech en el partido de fútbol americano que marcará el inicio de clases de este año. Con base en la venta anticipada de boletos, el departamento de deportes hizo el pronóstico de ventas de hot dogs que aparece en la tabla siguiente. La escuela comprará hot dogs de alta calidad a $1.50 y los venderá durante el juego a $3.00 cada uno. Los que sobren después del juego se venderán a $0.50 cada uno a la cafetería para estudiantes de Aggie, la cual los usará para preparar un potaje especial.

Cantidad vendida	Probabilidad
2,000	0.10
3,000	0.30
4,000	0.30
5,000	0.20
6,000	0.10

Utilice una matriz de resultados para determinar el número de hot dogs que será conveniente comprar para ese juego.

> REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS <

"Factors That Make or Break Season Sales", *Wall Street Journal,* 9 de diciembre de 1991.

Greene, James H., *Production and Inventory Control Handbook*, 3a. edición, Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

Inventory Management Reprints, Falls Church, VA, American Production and Inventory Control Society, 1993.

Silver, Edward A., D. F. Pyke y Rein Peterson, *Inventory Management, Production Planning, and Scheduling*, 3a. edición, Nueva York, John Wiley & Sons, 1998.

Sipper, Daniel y Robert L. Bulfin, Jr., *Production Planning, Control, and Integration*, Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

Tersine, Richard J., *Principles of Inventory and Materials Management,* 4a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1994.

13



El té Lipton es uno de los numerosos productos de Unilever, y es preciso pronosticar su demanda en todo el mundo. Durante siglos, la globalización viajó con los mercaderes que recorrían en caravanas las rutas euroasiáticas de comercio para traer especias de Oriente. Ahora viaja por cables y ondas de radio, satélites, aviones y gigabytes.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Explicar qué es planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración (CPFR).
2. Describir los distintos métodos para hacer pronósticos basados en juicios.
3. Explicar el uso de la regresión para hacer pronósticos.
4. Demostrar cómo se calculan los pronósticos utilizando los métodos más comunes para el análisis de series de tiempo.
5. Explicar las distintas formas de medir los errores de pronóstico.
6. Explicar cómo se utilizan los errores de pronóstico para observar y controlar el desempeño de los pronósticos.

CAPÍTULO 13
Pronósticos

UNILEVER

Una de las directrices cruciales en la administración de las cadenas de valor es la planificación eficaz de la demanda de los clientes (CDP, del inglés customer demand planning*), la cual comienza con los pronósticos precisos. La CDP es un proceso de planificación empresarial que permite a los equipos de ventas (y a los clientes) formular pronósticos de la demanda que sirven de base para los procesos de planificación de servicios, producción, inventario e ingresos. Por lo general,* **pronosticar** *es el proceso de elaborar la visión más probable de lo que será la demanda futura, dado un conjunto de suposiciones sobre la tecnología, competidores, precios, marketing, gastos y campañas de ventas. La planificación, por otro lado, es el proceso de tomar decisiones administrativas acerca de cómo utilizar los recursos para responder mejor a los pronósticos de la demanda.*

En general, los pronósticos deben preceder a los planes: no es posible tomar decisiones con respecto a los niveles de dotación de personal, compromisos de compra y niveles de inventario, sino hasta que se hayan formulado pronósticos que ofrezcan, dentro de lo razonable, una visión precisa de lo que será la demanda en el horizonte temporal que abarca el pronóstico.

Unilever, el proveedor de productos de consumo de alta rotación, cuenta con un sistema vanguardista de CDP. Usando software de Manugistics, el sistema combina datos históricos de embarques con datos de promociones, lo que permite compartir la información y colaborar con clientes importantes. El sistema empieza con el historial de embarques e información sobre los pedidos actuales, que constituyen la base sobre la que está construido el sistema de Unilever. Este pronóstico básico depende exclusivamente de información pasada y presente, por lo que un requisito crítico es contar con datos confiables. Sin embargo, debido a que los datos se recopilan con frecuencia de sistemas anticuados muy dispares, pueden contener errores, por lo que no necesariamente producen el mejor pronóstico.



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

Además, la información estadística no es útil para pronosticar los resultados de ciertos acontecimientos, promociones, lanzamientos y paquetes especiales, todos los cuales son comunes en la industria. Para superar este problema, los planificadores de Unilever tienen que ajustar los pronósticos estadísticos con las predicciones sobre las promociones planeadas que llevan a cabo los equipos de ventas especiales. Para cada promoción, el sistema de planificación de ventas predice el "alza", o aumento proyectado en las ventas, y envía los datos al sistema de planificación de demanda, que los aplica a las SKU (del inglés stock-keeping units*) y los centros de distribución correspondientes cada semana. A su vez, estos pronósticos se revisan y ajustan si es necesario.*

Unilever también realiza estudios externos de mercado y proyecciones internas de ventas, que se analizan, combinan con las promociones organizadas por los detallistas, y se introducen en el sistema de planificación de demanda. Para mejorar aún más la precisión de los pronósticos y reducir los tiempos de espera del inventario, Unilever, el proveedor de Dove, Lipton, Hellmann's, y cientos de otras marcas, compara los datos obtenidos en el punto de venta (POS, del inglés point of sale*) con sus propios pronósticos. Por desgracia, no todos los clientes proporcionan datos de POS. Además, no es fácil integrar los datos, porque éstos vienen en diferentes formatos, lo que obliga a la compañía a construir interfaces para administrarlos. Debido a que la creación de estas interfaces es cara y requiere mucho tiempo, la mayoría de las compañías, incluida Unilever, sólo recopilan datos de POS de sus clientes grandes. Finalmente, los planificadores de Unilever calculan las cifras finales cada semana e introducen estos pronósticos en el sistema de planificación de demanda.*

En general, el sistema actual de CDP ha sido un éxito. Unilever ha reducido su inventario y mejorado la atención que brinda a sus clientes. Sin embargo, si la colaboración y la utilización de datos de POS llegaran a incrementarse, es probable que Unilever obtuviera beneficios aún mayores. El siguiente paso para Unilever es colaborar con sus clientes y proveedores, un proceso mediante el cual los pronósticos, planes de promociones y otros datos se comparten entre estas empresas para determinar el pronóstico final. Este proceso se conoce como **planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración** *(CPFR, del inglés* collaborative planning, forecasting, and replenishment*).*

Fuentes: Robert L. Mitchell, "Case Study: Unilever Crosses the Data Streams", *Computerworld*, 17 de diciembre de 2001; Robert L. Mitchell, "Tech Check: Getting Demand Planning Right", *Computerworld*, 17 de diciembre de 2001; Chana R. Schoenberger, "The Weakest Link", *Forbes*Forbes, 1 de octubre de 2001; www.forbes.com/global/2001/1001/044_ print.html.

pronóstico

Una predicción de acontecimientos futuros que se utiliza con propósitos de planificación.

El éxito de Unilever a la fecha demuestra el valor de los pronósticos. Un **pronóstico** es una predicción de acontecimientos futuros que se utiliza con propósitos de planificación. En Unilever, la gerencia necesitaba contar con pronósticos precisos para garantizar el éxito de su cadena de valor. Las cambiantes condiciones de los negocios como resultado de la competencia mundial, el rápido cambio tecnológico y las crecientes preocupaciones por el medio ambiente han ejercido presiones sobre la capacidad de una empresa para generar pronósticos precisos.

Los métodos de pronóstico pueden basarse en modelos matemáticos que utilizan los datos históricos disponibles, o en métodos cualitativos que aprovechan la experiencia administrativa y los juicios de los clientes, o en una combinación de las dos cosas. El sistema CDP de Unilever combina estos métodos y CPFR promete producir todavía más mejoras en el proceso de elaboración de los pronósticos.

Este capítulo se centra en los pronósticos de la demanda. Comenzamos con los diferentes tipos de patrones de demanda y el diseño del sistema de pronósticos. Examinamos los métodos de pronóstico en tres categorías básicas: métodos de juicio, causales y de series de tiempo. Se definen los errores de pronóstico, que proporcionan pistas importantes para realizar mejores pronósticos. Concluimos con múltiples técnicas, que reúnen ideas de varias fuentes.

Los pronósticos son útiles tanto para la administración de los procesos como de la cadena de valor. En el nivel de la cadena de valor, la empresa necesita los pronósticos para coordinarse con sus clientes y proveedores. En el nivel de los procesos, los pronósticos de producción se necesitan para diseñar los diferentes procesos que se llevan a cabo en toda la organización, entre otros, identificar y solucionar los cuellos de botella internos. Por ejemplo, Hewlett-Packard produce tarjetas de red que convierten las impresoras HP dedicadas en impresoras compartidas en red. Sin embargo, los pronosticadores del mercado de HP sobrestimaron sistemáticamente las ventas reales de las tarjetas de red porque los pronósticos estaban fuertemente influidos por las cuotas de venta y las expectativas de ingresos. El resultado fue que el equipo de planificación de la produc-

ción de HP, que forma parte del proceso de surtido de pedidos, generó demasiado inventario. Cuando se delegó la responsabilidad del proceso de elaboración de pronósticos en el equipo de planificación de producción se registró una reducción de entre 20 y 30% en los niveles de inventario, manteniendo, al mismo tiempo, altos niveles de disponibilidad de los productos. Reconocer la función importante del proceso de elaboración de pronósticos dio como resultado un mejor desempeño general de la cadena de valor.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

PRONÓSTICOS EN LA ORGANIZACIÓN

Como ilustra el ejemplo de Hewlett-Packard, el proceso de elaboración de pronósticos en la organización afecta a varias áreas funcionales. El pronóstico general de la demanda típicamente se origina en marketing, pero los clientes internos de toda la organización dependen de los pronósticos para también formular y ejecutar sus planes. Los pronósticos son aportes cruciales de los planes de negocios, los planes anuales y los presupuestos. Finanzas necesita pronósticos para proyectar los flujos de efectivo y las necesidades de capital. Recursos humanos necesita pronósticos para prever las necesidades de contratación y capacitación de personal. Marketing es una de las fuentes principales de información de pronósticos de venta, porque es el área que se encuentra más cerca de los clientes externos. Operaciones necesita pronósticos para planear los niveles de producción, compras de servicios y materiales, mano de obra y programas de producción, inventarios y capacidades a largo plazo.

Los gerentes de toda la organización elaboran pronósticos sobre muchas variables, aparte de la demanda futura, como las estrategias de los competidores, los cambios normativos y tecnológicos, los tiempos de procesamiento, los tiempos de espera de los proveedores y las pérdidas de calidad. Las herramientas para elaborar estos pronósticos son, en esencia, las mismas que se explican aquí con respecto a la demanda: juicio, opiniones de personas conocedoras, promedios de experiencia, regresión y técnicas de series de tiempo. Con estas herramientas, los pronósticos pueden mejorar. Pese a todo, los pronósticos rara vez son perfectos. Como Samuel Clemens (Mark Twain) dijo en *Viaje alrededor del mundo siguiendo el ecuador:* "La profecía es un buen negocio, pero está lleno de riesgos". Los gerentes aceptan esta realidad y encuentran la forma de actualizar sus planes cuando se presenta el inevitable error de pronóstico u ocurre un suceso inesperado.

PATRONES DE DEMANDA

En la raíz de la mayoría de las decisiones de negocios se encuentra el reto de pronosticar la demanda del cliente. Se trata de una tarea difícil porque la demanda de bienes y servicios suele variar considerablemente. Por ejemplo, es previsible que la demanda de fertilizante para el césped aumente en los meses de primavera y verano; sin embargo, en los fines de semana específicos en los que la demanda es más intensa, ésta depende de factores incontrolables, como el clima. A veces, los patrones son más previsibles. Así, las horas pico del día en el centro de atención telefónica de un banco grande son de 9 de la mañana a 12 del día, y el día pico de la semana es el lunes. Para los procesos de preparación de estados de cuenta, los meses de mayor movimiento son enero, abril, julio y octubre, porque en esos meses se envían los estados de cuenta trimestrales. Para pronosticar la demanda en este tipo de situaciones es necesario descubrir los patrones subyacentes a partir de la información disponible. En esta sección, se explicarán primero los patrones fundamentales de la demanda.

Las observaciones repetidas de la demanda de un producto o servicio en el orden en que se realizan forman un patrón que se conoce como **serie de tiempo**. Los cinco patrones básicos de la mayoría de las series de tiempo aplicables a la demanda son:

serie de tiempo
Las observaciones repetidas de la demanda de un producto o servicio en el orden en que se realizan.

1. *Horizontal.* La fluctuación de los datos en torno de una media constante.
2. *Tendencia.* El incremento o decremento sistemático de la media de la serie a través del tiempo.
3. *Estacional.* Un patrón repetible de incrementos o decrementos de la demanda, dependiendo de la hora del día, la semana, el mes o la temporada.
4. *Cíclico.* Una pauta de incrementos o decrementos graduales y menos previsibles de la demanda, los cuales se presentan en el transcurso de periodos más largos (años o decenios).
5. *Aleatorio.* La variación imprevisible de la demanda.

Los patrones cíclicos provienen de dos influencias. La primera de ellas es el ciclo económico, que incluye diversos factores por los que la economía pasa de una recesión a una expansión en el transcurso de varios años. La otra influencia es el ciclo de vida del producto o servicio en cuestión, en el cual se reflejan las etapas de la demanda, desde el desarrollo hasta la declinación. El movimiento del ciclo económico es difícil de predecir porque se ve afectado por acontecimientos nacionales o internacionales, como las elecciones presidenciales o la agitación política en otros países. Hacer un pronóstico de la tasa de crecimiento o disminución de la demanda en el ciclo de vida también es difícil. A veces, las empresas estiman la demanda de un nuevo producto a partir del historial de demanda del producto anterior que van a sustituir con el nuevo.

Cuatro de los patrones de demanda (horizontal, de tendencia, estacional y cíclico) se combinan en diversos grados para definir el patrón fundamental de tiempo de demanda que corresponde a un producto o servicio. El quinto patrón, la variación aleatoria, es resultado de causas fortuitas y, por lo tanto, no puede pronosticarse. La variación aleatoria representa un aspecto de la demanda por el que todos los pronósticos resultan equivocados. La figura 13.1 muestra los cuatro primeros patrones de una serie de tiempo de la demanda, todos los cuales contienen variación aleatoria. Una serie de tiempo puede contener cualquier combinación de estos patrones.

DISEÑO DEL SISTEMA DE PRONÓSTICO

Antes de usar técnicas de pronóstico para el análisis de problemas de administración de operaciones, el gerente tiene que tomar tres decisiones: (1) qué va a pronosticar; (2) qué tipo de técnica de pronóstico va a usar, y (3) qué tipo de software de computación utilizará.

LA DECISIÓN DE QUÉ SE VA A PRONOSTICAR

Aunque se necesita algún tipo de estimación de la demanda para los bienes y servicios individuales que una compañía produce, puede ser más sencillo pronosticar la demanda total para grupos o conjuntos y derivar después los pronósticos correspondientes a productos o servicios individuales. Además, la selección de la unidad de medición apropiada para efectuar los pronósticos (por ejemplo, unidades de producto o servicio u horas máquina) es tan importante como la elección del mejor método.

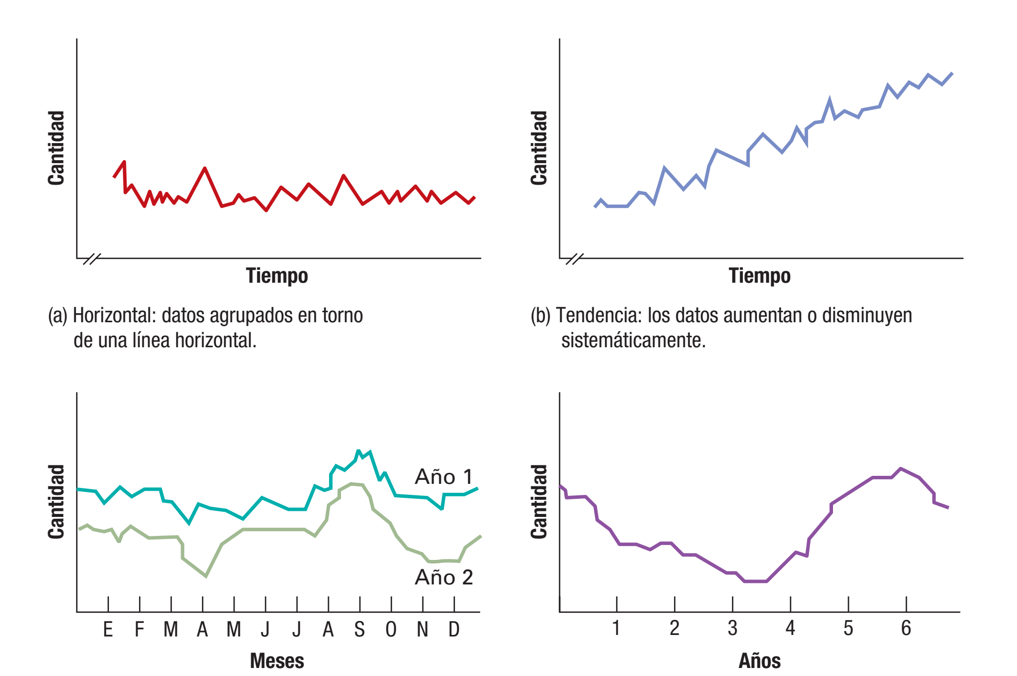
agregación
El acto de agrupar varios productos o servicios similares para que las compañías puedan realizar pronósticos más precisos.

stock-keeping unit (SKU)
Un artículo o producto individual que tiene un código de identificación y se mantiene en inventario en alguna parte a lo largo de la cadena de valor.

Nivel de agregación Pocas compañías se equivocan en más de 5% en sus pronósticos de la demanda total de todos sus productos o servicios. En cambio, la proporción de errores en los pronósticos elaborados para artículos individuales puede ser mucho más alta. Al agrupar varios productos o servicios similares en un proceso llamado **agregación**, las compañías tienen la posibilidad de realizar pronósticos más precisos. Muchas empresas utilizan un sistema de pronóstico de dos niveles, en el cual se realizan primero los pronósticos para familias de bienes o servicios cuyos requisitos de demanda son parecidos y tienen requerimientos comunes de procesamiento, mano de obra y materiales, y de esas cifras generales derivan después pronósticos para elementos individuales, que en ocasiones se conocen como *stock-keeping units*. Una **stock-keeping unit (SKU)** es un artículo o producto individual que tiene un código de identificación y se mantiene en inventario en alguna parte a lo largo de la cadena de valor, como en un centro de distribución. Con este método de dos niveles se mantiene la consistencia entre la planificación de las etapas finales de manufactura (en las cuales se requieren pronósticos unitarios) y la planificación a largo plazo de las ventas, utilidades y capacidad (en la que se requieren pronósticos para toda la familia de productos).

FIGURA 13.1

Patrones de demanda



Unidades de medida En lugar de usar unidades monetarias como unidad inicial de medida, los pronósticos más útiles para la planificación y el análisis de los problemas de operación se basan en unidades de productos o servicios, como las SKU, los paquetes de correspondencia urgente por entregar o los clientes que requieren servicio de mantenimiento o reparaciones para sus vehículos. Los pronósticos de los ingresos provenientes de las ventas no son muy útiles porque los precios fluctúan con frecuencia. A menudo, el mejor método consiste en pronosticar el número de unidades de demanda y multiplicarlo después por el precio para obtener las estimaciones de los ingresos por ventas. Si no es posible pronosticar con precisión el número de unidades de la demanda de un producto o servicio, muchas veces resulta preferible pronosticar las *horas* estándar de mano de obra o de máquina requeridas de cada uno de los recursos críticos, con base en patrones históricos. En el caso de las compañías que producen bienes o servicios por pedido del cliente, las estimaciones de las horas de mano de obra o de máquina son importantes para la debida programación y planificación de la capacidad.

SELECCIÓN DEL TIPO DE TÉCNICA DE PRONÓSTICO

El objetivo del pronosticador es elaborar un pronóstico útil a partir de la información disponible, aplicando la técnica que resulte apropiada para los diferentes patrones de demanda. Para los pronósticos de la demanda se usan dos tipos generales de técnicas: los métodos cualitativos y los métodos cuantitativos. El proceso CDP de Unilever usa una combinación de ambos métodos. Entre los métodos cualitativos figuran los **métodos de juicio**, en los que las opiniones de gerentes y expertos, los resultados de las encuestas de consumidores y las estimaciones del personal de ventas se traducen en estimaciones cuantitativas. Entre los métodos cuantitativos están los métodos causales y el análisis de series de tiempo. Para pronosticar la demanda, los **métodos causales** utilizan datos históricos de variables independientes, como campañas de promoción, condiciones económicas y actividades de los competidores. El **análisis de series de tiempo** es un método estadístico que depende en alto grado de datos históricos de la demanda, con los que proyecta la magnitud futura de la misma y reconoce las tendencias y patrones estacionales.

Un factor clave en la selección del método de pronóstico más adecuado es el horizonte de tiempo correspondiente a la decisión que requiera pronosticarse. Los pronósticos pueden ser a corto, mediano y largo plazo. La tabla 13.1 muestra ejemplos de aplicaciones de pronóstico de la demanda y señala el horizonte de planificación típico de cada una. Además, esta decisión implica a veces establecer un equilibrio entre la precisión del pronóstico y los costos, como los de software, el tiempo requerido para elaborar el pronóstico y la capacitación del personal.

métodos de juicio

Un tipo de método cualitativo en el que las opiniones de gerentes y expertos, los resultados de las encuestas de consumidores y las estimaciones del personal de ventas se traducen en estimaciones cuantitativas.

métodos causales

Un tipo de método cuantitativo que utiliza datos históricos de variables independientes, como campañas de promoción, condiciones económicas y actividades de los competidores, para pronosticar la demanda.

análisis de series de tiempo

Es un método estadístico que depende en alto grado de datos históricos de la demanda, con los que proyecta la magnitud futura de la misma y reconoce las tendencias y patrones estacionales.

PRONÓSTICOS POR MEDIO DE COMPUTADORAS

En muchas aplicaciones de pronóstico a corto plazo, las computadoras son indispensables. Con frecuencia, las empresas tienen que preparar pronósticos para cientos o incluso miles de productos o servicios en forma reiterada. Por ejemplo, una amplia red de instalaciones de servicio médi-

TABLA 13.1 Aplicaciones de pronóstico de la demanda

	Horizonte de tiempo		
Aplicación	**Corto plazo (0 a 3 meses)**	**Mediano plazo (3 meses a 2 años)**	**Largo plazo (más de 2 años)**
Cantidad pronosticada	Productos o servicios individuales	Total de ventas Grupos o familias de productos o servicios	Total de ventas
Área de decisión	Administración de inventario Programación del ensamblaje final Programación de horarios de los trabajadores Programación maestra de producción	Planificación de personal Planificación de la producción Programación maestra de producción Compras Distribución	Localización de instalaciones Planificación de la capacidad Administración de procesos
Técnica de pronóstico	Series de tiempo Causal De juicio	Causal De juicio	Causal De juicio

co necesita calcular pronósticos de la demanda de cada uno de sus servicios en cada departamento. Esta operación implica grandes volúmenes de datos que deben manipularse con frecuencia. Los analistas tienen que examinar las series de tiempo que corresponden a cada producto o servicio a fin de elaborar un pronóstico. Sin embargo, ahora se dispone de nuevo software que facilita la tarea de elaborar los pronósticos y coordinarlos entre minoristas y proveedores.

Existen muchos paquetes de software para pronóstico que pueden usarse en computadoras de cualquier tamaño y ofrecen una amplia variedad de capacidades de pronóstico y formatos de informes, entre ellos figuran los de Manugistics, Forecast Pro y SAS. Encontrará una lista más completa y una encuesta reciente sobre los programas de software que se venden en el mercado en www.lionhrtpub.com/orms/surveys/FSS/fss-fr.html y www.morris.wharton.upenn.edu/forecast/software.html. Típicamente, los paquetes de software para pronóstico leen los datos contenidos en archivos de hoja de cálculo, trazan gráficos de los datos y los pronósticos, y guardan los archivos de pronóstico para mostrar los resultados en hojas de cálculo. Los precios de estos programas varían entre $150 y más de $10,000, dependiendo de las funciones de análisis de datos que contengan. El diseño de estos programas para computadoras personales y su precio relativamente bajo ponen a estos paquetes al alcance de cualquier empresa.

planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración (CPFR)

Proceso de nueve pasos para administrar la cadena de valor, que permite a un fabricante y a sus clientes colaborar en la elaboración del pronóstico por medio de Internet.

Un acontecimiento importante en el área de los pronósticos es el enfoque general adoptado por Unilever, que usa software para compartir información y colaborar con sus clientes. En la práctica administrativa 13.1 se describe un método formal para implementarlo, así como la experiencia de Wal-Mart con este nuevo proceso. La **planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración (CPFR,** del inglés *collaborative planning, forecasting, and replenishment*) es un proceso de nueve pasos para administrar la cadena de valor, en el cual los pronósticos desempeñan una función decisiva, que permite a un fabricante y a sus clientes colaborar en la elaboración del pronóstico por medio de Internet. Las compañías están estudiando detenidamente este método y se han anunciado estudios piloto muy prometedores. Sin embargo, hay algunos factores, como los sistemas anticuados, la confianza mutua y la geografía, que han provocado una adopción irregular de CPFR a la fecha.

> MÉTODOS DE JUICIO <

Los pronósticos de los métodos cuantitativos sólo son posibles cuando existe una cantidad suficiente de datos históricos, que a menudo se conoce como *archivo de historial* en varios paquetes comerciales de software. Sin embargo, el archivo de historial puede no existir, como en los casos en que se lanza al mercado un nuevo producto o se espera un cambio en la tecnología. Por otro lado, el archivo de historial puede existir, pero no ser demasiado útil cuando ciertos acontecimientos (como las presentaciones de nuevos productos o los paquetes especiales) se reflejan en los datos pasados, o cuando se espera que ciertos acontecimientos ocurran en el futuro. La experiencia de Unilever es un buen ejemplo. En algunos casos, los métodos de juicio son la única manera práctica de realizar un pronóstico. En otros casos, los métodos de juicio también pueden usarse para modificar los pronósticos generados por los métodos cuantitativos para prever sucesos especiales próximos que, de lo contrario, no se reflejarían en el pronóstico. Por último, los métodos de juicio pueden usarse para ajustar el archivo de historial que se analizará con métodos cuantitativos para descontar el impacto de acontecimientos especiales únicos que ocurrieron en el pasado. Si no se usaran los métodos de juicio, los cuantitativos producirían pronósticos poco confiables. En esta sección se examinarán cuatro de los métodos de juicio que se utilizan actualmente con más éxito: (1) las estimaciones del personal de ventas; (2) la opinión ejecutiva; (3) la investigación de mercado, y (4) el método Delphi.

estimaciones del personal de ventas

Son pronósticos compilados a partir de estimaciones de la demanda futura que realizan periódicamente los miembros del personal de ventas de las compañías.

ESTIMACIONES DEL PERSONAL DE VENTAS

A veces, la mejor información sobre la demanda futura proviene de las personas que están más cerca de los clientes externos. Las **estimaciones del personal de ventas** son pronósticos compilados a partir de estimaciones realizadas periódicamente por miembros del personal de ventas de las compañías. Este método tiene varias ventajas:

- El personal de ventas es el grupo que tiene mayores probabilidades de saber qué productos o servicios comprarán los clientes en el futuro cercano y en qué cantidades.
- Los territorios de ventas están divididos a menudo en distritos o regiones. La información desglosada de este modo puede ser útil para propósitos de administración de inventarios, distribución y contratación de personal de ventas.
- Los pronósticos de individuos miembros del personal de ventas pueden combinarse fácilmente para obtener las cifras correspondientes a ventas regionales o nacionales.

Pero dicho método también tiene varias desventajas:

- Los prejuicios individuales de los vendedores pueden introducir sesgos en el pronóstico; además, algunas personas son optimistas por naturaleza y otras son más cautelosas.
- Es posible que el personal de ventas no siempre perciba la diferencia entre lo que el cliente "quiere" (la lista de deseos) y lo que el cliente "necesita" (una compra necesaria).

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 13.1 WAL-MART USA CPFR E INTERNET PARA MEJORAR LA PRECISIÓN DE SUS PRONÓSTICOS

Wal-Mart ha sido reconocido desde hace mucho tiempo por el cuidadoso análisis de las cantidades que ingresan a sus cajas registradoras y por la forma en que trabaja con los proveedores para reducir los inventarios. En el pasado, como muchos otros minoristas, Wal-Mart no compartía sus pronósticos con los proveedores. El resultado eran errores de pronóstico hasta del 60% de la demanda real. Los minoristas pedían más mercancía de la que necesitaban, y los proveedores producían más de lo que podían vender.

Para combatir los efectos nocivos de los errores de pronóstico en los inventarios, Benchmarking Partners, Inc. fue fundada a mediados de la década de 1990 por Wal-Mart, IBM, SAP y Manugistics para desarrollar un paquete de software llamado CFAR (pronúnciese igual que "see far", es decir, "ver a lo lejos"), que son las siglas en inglés de "pronósticos y reabastecimiento en colaboración". Una ventaja clave de este paquete era su capacidad de producir pronósticos más fiables a mediano plazo. El sistema permitía que fabricantes y comerciantes trabajaran conjuntamente en la elaboración de pronósticos utilizando Internet, en lugar de fax o teléfono, pues con estos últimos la carga sería muy pesada, ya que se requieren pronósticos semanales de los miles de artículos que se mantienen en inventario en cada tienda.

Wal-Mart puso en marcha el modelo CFAR con el producto Listerine de Warner-Lambert. El sistema funcionaba de la siguiente forma: Wal-Mart y Warner-Lambert calculaban, cada uno por su cuenta, la demanda esperada de Listerine en los seis meses próximos, tomando en consideración factores como las tendencias de las ventas en el pasado y los planes de promoción. A continuación, intercambiaban sus pronósticos a través de Internet. Si dichos pronósticos diferían en más de un porcentaje predeterminado, el minorista y el fabricante usaban Internet para intercambiar comentarios por escrito y datos de apoyo. Ambas partes repetían este ciclo todas las veces que fuera necesario hasta que sus cifras convergían en un pronóstico aceptable. Después de que concluyó el programa piloto, los beneficios para Wal-Mart incluyeron una mejoría en la posición de inventario de 85% a 98%, así como aumentos notables en las ventas y reducciones en los costos de inventario. Asimismo, Warner-Lambert se benefició porque logró tener un plan de producción más uniforme y menores costos en promedio.

Este proyecto fue supervisado por la Voluntary Interindustry Commerce Standards Association (VICS), que luego generalizó CFAR en un modelo llamado CPFR, que son las siglas en inglés de "planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración". CPFR es un proceso de nueve pasos para administrar el suministro y, al igual que en CFAR, los pronósticos desempeñan una función muy importante. El objetivo de CPFR es crear información considerablemente más precisa que lleve a la cadena de valor a aumentar las ventas y obtener mayores utilidades. En otras palabras, CPFR puede eliminar costos de la cadena de valor y mejorar la rentabilidad. De modo muy parecido a CFAR, el modelo CPFR, que es más general, requiere la comparación de dos pronósticos (uno de cada socio). Sin embargo, debe aclararse que el proceso sigue siendo valioso cuando un pronóstico se compara con las ventas reales o cuando el pronóstico actual se compara con el pronóstico anterior. De un modo u otro, la colaboración mejora la precisión de los pronósticos.

Luego del programa piloto con Warner-Lambert, Wal-Mart implementó un CPFR piloto con Sara Lee, en el que ambas empresas intercambiaban información, como pronósticos y datos de reabastecimiento. A cambio, Wal-Mart se benefició porque así se aseguraba de contar con el artículo que necesitaba en el momento y lugar indicados, con lo que aumentaba la satisfacción del cliente y la rentabilidad.



Listerine fue el caso de prueba de un modelo nuevo para elaborar pronósticos llamado CPFR (del inglés *collaborative planning*, *forecasting*, and *replenishment*, que significa "planificación, pronóstico y reabastecimiento en colaboración". Por medio de Internet, minoristas como Wal-Mart y fabricantes como Warner-Lambert intercambian pronósticos sobre productos y se colocan en una mejor posición para ajustar la oferta a la demanda.

Además de Wal-Mart, varias compañías importantes han puesto en marcha planes piloto para probar CPFR. Por ejemplo, Kimberly-Clark, Kmart, Walgreens, Schering-Plough, Nabisco y Wegmans Food Markets, entre otras. En general, las compañías que han participado en programas piloto aseguran que la inversión realizada en CPFR fue relativamente pequeña porque ya existían Internet y otros estándares de telecomunicaciones, y que las implicaciones para los recursos humanos fueron pocas. A cambio, las compañías que adoptan el modelo CPFR reducen el capital de trabajo, de modo que los fondos pueden invertirse en usos más productivos, como el desarrollo y marketing de nuevos productos, la reducción del capital fijo y los gastos de infraestructura, la disminución de los gastos de operación, y el crecimiento de las ventas cada año.

A pesar de los programas piloto prometedores, la tasa de adopción del modelo CPFR ha sido más lenta de lo que se había pronosticado. En primer lugar, muchas compañías todavía tienen sistemas anticuados que retrasan la implementación. Segundo, para compartir la información, que es un factor crucial para el éxito de CPFR, se necesita que los socios confíen en que están trabajando por lo que más conviene a ambas partes. Sin esta confianza, la información no podrá compartirse por completo y el CPFR no tendrá éxito. Por último, la implementación de CPFR difiere en términos geográficos. Por ejemplo, en Europa el modelo CPFR se ha topado con dificultades diferentes de las que se han presentado en Estados Unidos, lo que ha llevado a varios profesionales a considerar la posibilidad de implantar modelos regionales de CPFR en lugar de un solo enfoque general.

Fuentes: VICS (2002), "Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment", versión 2.0, www.cpfr.org; Robert J. Bowman, "Access to Data in Real Time: Seeing Isn't Everything", *Global Logistics and Supply-Chain Strategies,* mayo de 2002; Noah Schachtman, "Trading Partners Collaborate to Increase Sales", *Information Week.com,* 9 de octubre de 2000.

- Si la empresa utiliza las ventas individuales como medida del desempeño, el personal de ventas puede subestimar sus pronósticos para que su propio desempeño parezca bueno cuando superen esas proyecciones, o para tener que esforzarse solamente hasta alcanzar las ventas mínimas requeridas.

OPINIÓN EJECUTIVA

opinión ejecutiva
Método de pronóstico en el cual se hace un resumen de las opiniones, experiencia y conocimientos técnicos de uno o varios gerentes para llegar a un solo pronóstico.

pronósticos tecnológicos
Aplicación de la opinión ejecutiva para mantenerse al tanto de los últimos adelantos tecnológicos.

Cuando se piensa lanzar un nuevo producto o servicio, el personal de ventas no siempre es capaz de hacer estimaciones precisas de la demanda. La **opinión ejecutiva** es un método de pronóstico en el cual se hace un resumen de las opiniones, experiencia y conocimientos técnicos de uno o varios gerentes para llegar a un solo pronóstico. Como se explicará más adelante, la opinión ejecutiva puede usarse para modificar un pronóstico de ventas existente, a fin de tomar en cuenta circunstancias inusitadas, como una nueva promoción de ventas o acontecimientos internacionales inesperados. La opinión ejecutiva también puede usarse para elaborar **pronósticos tecnológicos**. El ritmo acelerado del cambio tecnológico dificulta la tarea de mantenerse al tanto de los últimos adelantos. La clave para la utilización eficaz de la opinión ejecutiva consiste en asegurarse de que el pronóstico no refleje una serie de modificaciones independientes, sino un consenso de los ejecutivos acerca de un pronóstico unificado.

INVESTIGACIÓN DE MERCADO

investigación de mercado
Método sistemático para determinar el grado de interés del consumidor externo por un producto o servicio, mediante la creación y puesta a prueba de diversas hipótesis por medio de encuestas encaminadas a la recopilación de datos.

La **investigación de mercado** consiste en un método sistemático para determinar el grado de interés del consumidor externo por un producto o servicio, mediante la creación y puesta a prueba de diversas hipótesis por medio de encuestas encaminadas a la recopilación de datos. La realización de un estudio de investigación de mercado incluye el diseño de un cuestionario, la decisión de cómo administrarlo, la selección de una muestra representativa y el análisis de la información, aplicando el buen juicio y herramientas estadísticas para interpretar las respuestas. A pesar de que la investigación de mercado produce información importante, una de sus desventajas son las numerosas salvedades y limitaciones que suelen incluir sus conclusiones.

MÉTODO DELPHI

método Delphi
Proceso para obtener el consenso dentro de un grupo de expertos, al tiempo que se respeta el anonimato de sus integrantes.

El **método Delphi** es un proceso para obtener el consenso dentro de un grupo de expertos, al tiempo que se respeta el anonimato de sus integrantes. Esta forma de pronóstico es útil cuando no existen datos históricos sobre los cuales puedan desarrollarse modelos estadísticos y cuando los gerentes de la empresa no tienen experiencia en la cual fundamentar proyecciones bien informadas. Un coordinador envía preguntas a cada uno de los miembros del grupo de expertos externos, quienes tal vez ignoran quién más está participando. El coordinador prepara un resumen estadístico de las respuestas, además de un sumario de los argumentos que vienen a propósito de algunas de ellas. El informe se envía al mismo grupo para otra ronda de opiniones y los participantes pueden modificar sus respuestas anteriores si así lo desean. Las rondas continúan hasta llegar a un consenso.

El método Delphi se usa para elaborar pronósticos a largo plazo de la demanda de productos y proyecciones de ventas de los nuevos productos.

LINEAMIENTOS PARA USAR PRONÓSTICOS DE JUICIO

La necesidad de usar pronósticos de juicio es muy clara cuando no existen datos cuantitativos que permitan aplicar enfoques de pronóstico también cuantitativos. Sin embargo, los métodos de juicio pueden utilizarse en combinación con enfoques cuantitativos a fin de mejorar la calidad del pronóstico. Entre los lineamientos aplicables al uso del juicio para ajustar los pronósticos cuantitativos, figuran los siguientes:

- *Ajuste los pronósticos cuantitativos cuando éstos tienden a ser imprecisos y la persona que toma las decisiones posee un conocimiento contextual importante*. Por conocimiento contextual se entiende el conocimiento que se obtiene por experiencia en el ejercicio de una actividad, como en el caso de las relaciones de causa y efecto, los indicios ambientales y la información sobre la organización que puede tener efecto en la variable que se va a pronosticar. Muchas veces no es posible incorporar estos factores a los enfoques de pronóstico de tipo cuantitativo.
- *Haga ajustes a los pronósticos cuantitativos para compensar sucesos específicos*. A menudo, ciertos sucesos específicos, como las campañas de publicidad, las actividades de los competidores o los acontecimientos internacionales, no se reconocen en los pronósticos cuantitativos y es preciso tomarlos en cuenta al elaborar un pronóstico definitivo.

En el resto de este capítulo, la atención se centrará en los métodos de pronóstico cuantitativos que se usan más comúnmente.

> MÉTODOS CAUSALES: REGRESIÓN LINEAL <

Los métodos causales se emplean cuando se dispone de datos históricos y se puede identificar la relación entre el factor que se intenta pronosticar y otros factores externos o internos (por ejemplo, las acciones del gobierno o las promociones publicitarias). Estas relaciones se expresan en térmi-

nos matemáticos y suelen ser muy complejas. Los métodos causales proporcionan las herramientas de pronóstico más avanzadas y son excelentes para prever los puntos de cambio en la demanda y preparar pronósticos a largo plazo. Aunque existen muchos métodos causales, nos ocuparemos aquí de los más conocidos y los que se utilizan más comúnmente entre todos esos métodos.

En la **regresión lineal**, una variable, conocida como variable dependiente, está relacionada con una o más variables independientes por medio de una ecuación lineal. La **variable dependiente** (como la demanda de picaportes) es la que el gerente desea pronosticar. Se supone que las **variables independientes** (como los gastos de publicidad o el inicio de la construcción de nuevas viviendas) influyen en la variable dependiente y, por ende, son la "causa" de los resultados observados en el pasado. La figura 13.2 muestra la relación entre una regresión lineal y los datos. En términos técnicos, la línea de regresión minimiza las desviaciones cuadráticas con respecto a los datos reales.

regresión lineal
Método causal en el que una variable (conocida como variable dependiente), está relacionada con una o más variables independientes por medio de una ecuación lineal.

variable dependiente
Variable que se desea pronosticar.

variables independientes
Variables que se supone que influyen en la variable dependiente y, por ende, son la "causa" de los resultados observados en el pasado.

En los modelos de regresión lineal más sencillos, la variable dependiente es función de una sola variable independiente y, por lo tanto, la relación teórica es una línea recta:

$$Y = a + bX$$

donde

Y = variable dependiente

X = variable independiente

a = intersección de la recta con el eje Y

b = pendiente de la recta

El objetivo del análisis de regresión lineal es encontrar los valores de a y b que minimicen la suma de las desviaciones cuadráticas de los puntos de datos reales que están representados en el gráfico. Con esta finalidad se utilizan programas de cómputo. Para cualquier conjunto de parejas de observaciones de Y y X, el programa calcula los valores de a y b y ofrece medidas de la precisión del pronóstico. Tres medidas de uso común son el coeficiente de correlación de la muestra, el coeficiente de determinación de la muestra y el error estándar del estimado.

El *coeficiente de correlación de la muestra*, r, mide la dirección y fuerza de la relación entre la variable independiente y la variable dependiente. Los valores de r pueden fluctuar entre –1.00 y +1.00. Un coeficiente de correlación de +1.00 implica que los cambios registrados de uno a otro periodo en la dirección (incrementos o decrementos) de la variable independiente, siempre van acompañados por cambios de la variable dependiente en la misma dirección. Un r de –1.00 significa que los decrementos de la variable independiente siempre van acompañados de incrementos en la variable dependiente, y viceversa. Cuando r tiene valor de cero, significa que no existe relación lineal entre las variables. Cuanto más se aproxime el valor de r a ±1.00, tanto más adecuado será el ajuste de la línea de regresión con respecto a los puntos del gráfico.

El *coeficiente de determinación de la muestra* mide la cantidad de variación que presenta la variable dependiente con respecto a su valor medio, que se explica por la línea de regresión. El coeficiente de determinación es igual al cuadrado del coeficiente de correlación, o r^2. El valor de r^2 oscila entre 0.00 y 1.00. Las ecuaciones de regresión, cuyo valor de r^2 se aproxima a 1.00, son deseables porque eso significa que las variaciones de la variable dependiente y del pronóstico generado por la ecuación de regresión están estrechamente relacionadas.

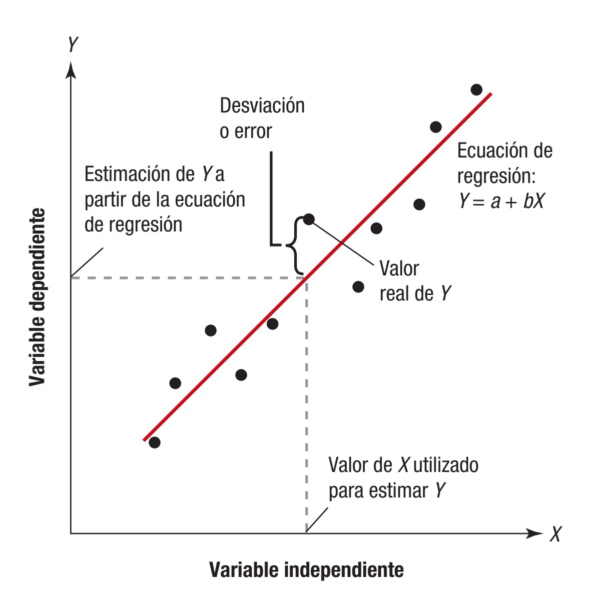


FIGURA 13.2
Línea de regresión lineal relacionada con datos reales

El *error estándar del estimado,* s_{yx}, mide la proximidad con que los datos de la variable dependiente se agrupan alrededor de la línea de regresión. Aunque es semejante a la desviación estándar de la muestra, mide el error de la variable dependiente, *Y,* con respecto a la línea de regresión, en lugar de medirlo con respecto a la media. En consecuencia, es la desviación estándar de la diferencia entre la demanda real y la estimación obtenida con la ecuación de regresión. Al determinar qué variable independiente se incluirá en la ecuación de regresión, se debe elegir la que tenga el error estándar más pequeño del estimado.

EJEMPLO 13.1 Uso de la regresión lineal para pronosticar la demanda de un producto



MODELO ACTIVO 13.1

El modelo activo 13.1 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor cómo puede variar la intersección y la pendiente del modelo.

La persona a cargo de programar la producción de una compañía tiene que elaborar pronósticos de la demanda de un producto a fin de planear las cantidades de producción más apropiadas. Durante un almuerzo de negocios, la gerente de marketing le proporciona información sobre el presupuesto de publicidad de una bisagra de bronce para puertas. A continuación se presentan los datos sobre ventas y publicidad correspondientes a los últimos cinco meses:

Mes	Ventas (miles de unidades)	Publicidad (miles de dólares)
1	264	2.5
2	116	1.3
3	165	1.4
4	101	1.0
5	209	2.0

La gerente de marketing afirma que la compañía gastará el mes entrante $1,750 en publicidad del producto. Aplique la regresión lineal para desarrollar una ecuación y un pronóstico para ese producto.

SOLUCIÓN

Suponga que existe una relación lineal entre las ventas y los gastos de publicidad. En otras palabras, las ventas son la variable dependiente, *Y*, y los gastos de publicidad son la variable independiente, *X.* Utilizando las parejas de observaciones mensuales correspondientes a las ventas y los gastos de publicidad proporcionadas por la gerente de marketing, se usa la computadora para encontrar los mejores valores de *a*, *b*, el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación y el error estándar del estimado.

$$a = -8.135$$
$$b = 109.229X$$
$$r = 0.980$$
$$r^2 = 0.960$$
$$s_{yx} = 15.603$$

La ecuación de regresión es:

$$Y = -\ 8.135 + 109.229X$$

y la línea de regresión se ilustra en la figura 13.3.

¿Es acertado seleccionar los gastos de publicidad para realizar un pronóstico de ventas? Observe que el coeficiente de correlación de la muestra, *r*, es 0.98. Puesto que el valor de *r* se aproxima mucho a 1.00, se concluye que existe una fuerte relación positiva entre las ventas y los gastos de publicidad, y que la elección fue acertada.

A continuación, se examina el coeficiente de determinación de la muestra, r^2, o 0.96. Este valor de r^2 implica que el 96% de la variación observada en las ventas se explica por los gastos de publicidad. En la práctica, la mayoría de las relaciones entre publicidad y ventas no son tan fuertes porque con frecuencia otras variables, como la situación económica en general y las estrategias de los competidores, se combinan para afectar las ventas.

Como el gasto de publicidad será de $1,750, el pronóstico para el mes 6 es:

$$Y = -8.135 + 109.229(1.75)$$
$$= 183.016 \quad \text{o} \quad 183{,}016 \text{ unidades}$$

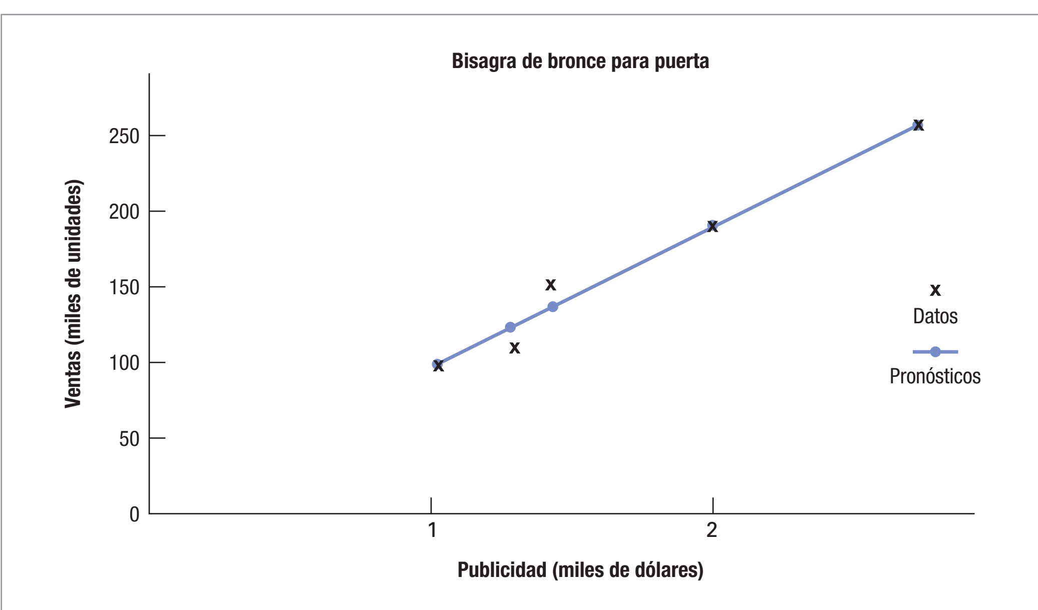


FIGURA 13.3

Línea de regresión lineal correspondiente a los datos sobre ventas y publicidad, usando POM para Windows

Punto de decisión La persona que está cargo de programar la producción puede usar este pronóstico para determinar la cantidad de bisagras de bronce para puerta que se necesitará en el mes 6. Suponga que esa persona tiene 62,500 unidades en inventario. La cantidad que deberá proporcionar producción es 183,016 – 62,500 = 120,016 unidades, suponiendo que dicha persona no desee perder ninguna venta.

Frecuentemente, varias variables independientes pueden influir en la variable dependiente. Por ejemplo, los gastos de publicidad, la puesta en marcha de nuevas corporaciones y los contratos de construcción residencial pueden ser importantes para estimar la demanda de bisagras para puertas. En esos casos, el *análisis de regresión múltiple* ayuda a plantear una ecuación de pronóstico para la variable dependiente como función de múltiples variables independientes. Estos modelos pueden analizarse con POM para Windows u OM Explorer y son muy útiles para prever puntos de cambio y para resolver muchos problemas de planificación.

> MÉTODOS DE SERIES DE TIEMPO <

En lugar de emplear variables independientes para el pronóstico como en los modelos de regresión, los métodos de series de tiempo usan información histórica que sólo se refiere a la variable dependiente. Estos métodos se basan en la suposición de que el patrón de la variable dependiente en el pasado habrá de continuar en el futuro. En el análisis de series de tiempo se identifican los patrones fundamentales de la demanda que se combinan para producir el patrón histórico observado en la variable dependiente, después de lo cual se elabora un modelo capaz de reproducir dicho patrón. En esta sección, la atención se centrará en los métodos de series de tiempo aplicables a los patrones de demanda de tipo horizontal, de tendencia y estacionales. Antes de hablar de los métodos estadísticos, se examinará brevemente el más sencillo de los métodos de series de tiempo para abordar todos los patrones de demanda: el pronóstico empírico.

PRONÓSTICO EMPÍRICO

Un método que se usa con frecuencia en la práctica es el **pronóstico empírico**, en el cual el pronóstico de la demanda para el siguiente periodo es igual a la demanda observada en el periodo actual (D_t). De esta manera, si la demanda real del miércoles ha sido de 35 clientes, la demanda pronosticada para el jueves será de 35 clientes. Si la demanda real del jueves es de 42 clientes, la demanda pronosticada para el viernes también será de 42 clientes.

pronóstico empírico
Método de series de tiempo en el cual el pronóstico de la demanda para el siguiente periodo es igual a la demanda observada en el periodo actual; es decir, Pronóstico = D_t.

El método de pronóstico empírico se puede adaptar para tomar en cuenta una tendencia de la demanda. El incremento (o decremento) observado en la demanda de los dos últimos periodos se usa para ajustar la demanda actual a fin de llegar a un pronóstico. Suponga que la demanda fue de 120 unidades en la última semana y de 108 unidades la semana anterior. El incremento de la demanda fue de 12 unidades en una semana, por lo que el pronóstico para la siguiente semana sería de 120 + 12 = 132 unidades. Si la demanda real de la semana siguiente resultara ser de 127 unidades, el siguiente pronóstico sería de 127 + 7 = 134 unidades. El método de pronóstico empírico

también se puede aplicar a patrones estacionales. Si la demanda durante julio del año pasado fue de 50,000 unidades, el pronóstico para julio del año en curso será de 50,000 unidades. Asimismo, los pronósticos de demanda para cada uno de los meses del año entrante será un simple reflejo de la demanda real observada en esos mismos meses durante el año pasado.

Las ventajas del método de pronóstico empírico son su simplicidad y su bajo costo. Este método funciona mejor cuando los patrones horizontales, de tendencia o estacionales son estables y la variación aleatoria es pequeña. Cuando la variación aleatoria es grande, el uso del valor de la demanda en el último periodo para estimar la del periodo siguiente puede producir pronósticos sumamente variables que no son útiles para propósitos de planificación. Sin embargo, si su nivel de precisión es aceptable, el pronóstico empírico es un método atractivo para el pronóstico con series de tiempo.

ESTIMACIÓN DEL PROMEDIO

Cada serie de tiempo de demanda tiene por lo menos dos de los cinco patrones posibles de demanda: el horizontal y el aleatorio. También *puede* tener patrones de tendencia, estacionales o cíclicos. Comenzaremos nuestra exposición de los métodos estadísticos de pronóstico basados en series de tiempo, refiriéndonos a la demanda que no tiene patrones de tendencia, estacionales o cíclicos. El patrón horizontal de una serie de tiempo se basa en la media de las demandas, por lo cual nos centraremos en los métodos de pronóstico en los que se estima el promedio de una serie de datos a través del tiempo. En consecuencia, para todos los métodos de pronóstico expuestos en esta sección, el pronóstico de demanda para *cualquier* periodo futuro es el promedio de las series de tiempo calculadas en el periodo actual. Por ejemplo, si el promedio de la demanda anterior que se calculó el martes es de 65 clientes, los pronósticos para el miércoles, jueves y viernes serán de 65 clientes cada día.

Considere la figura 13.4, que muestra la llegada de pacientes a una clínica médica en las últimas 28 semanas. Suponga que el patrón de demanda aplicable al arribo de los pacientes no tiene ningún patrón de tendencia, estacional o cíclico. La serie de tiempo muestra solamente un patrón horizontal y aleatorio. Como nadie puede prever errores aleatorios, nos centraremos con estimar el promedio. Las técnicas estadísticas útiles para el pronóstico de esas series de tiempo son: (1) promedios móviles simples; (2) promedios móviles ponderados, y (3) suavizamiento exponencial.

método de promedio móvil simple

Método de series de tiempo que se usa para estimar el promedio de una serie de tiempo de demanda, promediando la demanda de los n periodos más reciente.

Promedios móviles simples El **método de promedio móvil simple** se usa para estimar el promedio de una serie de tiempo de demanda y, por lo tanto, para suprimir los efectos de las fluctuaciones aleatorias. Este método resulta más útil cuando la demanda no tiene tendencias pronunciadas ni influencias estacionales. La aplicación de un modelo de promedio móvil requiere simplemente calcular la demanda promedio para los n periodos más recientes, con el fin de usarla como pronóstico para el siguiente periodo. Para el periodo siguiente, una vez que se conoce la demanda, la demanda más antigua incluida en el promedio anterior se sustituye por la demanda más reciente y luego se vuelve a calcular el promedio. De esta manera, se usan las n demandas más recientes y el promedio se "mueve" de un periodo a otro.

En términos específicos, el pronóstico correspondiente al periodo $t + 1$ se calcula como sigue:

$$F_{t+1} = \frac{\text{Suma de las últimas } n \text{ demandas}}{n} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \cdots + D_{t-n+1}}{n}$$

donde

D_t = demanda real en el periodo t

n = número total de periodos incluidos en el promedio

F_{t+1} = pronóstico para el periodo $t + 1$

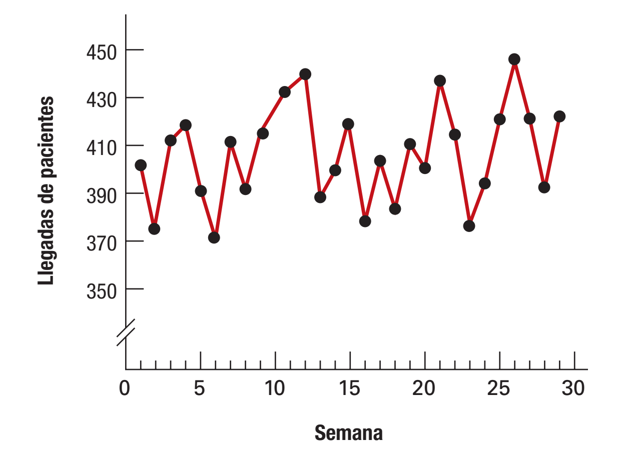


FIGURA 13.4

Llegadas semanales de pacientes a una clínica médica

Con el método de promedio móvil, el pronóstico de la demanda en el periodo siguiente será igual al promedio calculado al final de este periodo.

En cualquier método de pronóstico, es importante medir la precisión de los pronósticos. El **error de pronóstico** es simplemente la diferencia que se obtiene al restar el pronóstico de la demanda real en cualquier periodo determinado, o

error de pronóstico
La diferencia que se obtiene al restar el pronóstico de la demanda real en cualquier periodo determinado.

$$E_t = D_t - F_t$$

donde

E_t = error de pronóstico en el periodo t
D_t = demanda real en el periodo t
F_t = pronóstico para el periodo t

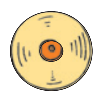
Uso del método de promedio móvil para estimar la demanda promedio — EJEMPLO **13.2**

a. Calcule un pronóstico de promedio móvil de *tres semanas* para estimar la llegada de pacientes a la clínica médica durante la semana 4. Las cifras correspondientes a las llegadas de pacientes en las últimas tres semanas son las siguientes:

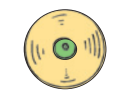
Semana	Llegadas de pacientes
1	400
2	380
3	411

b. Si el número real de llegadas de pacientes durante la semana 4 es de 415, ¿cuál será el error de pronóstico para la semana 4?

c. ¿Cuál será el pronóstico para la semana 5?



MODELO ACTIVO 13.2
El modelo activo 13.2 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor el impacto de las variaciones de *n*, usando los ejemplos de las figuras 13.4 y 13.10.



TUTOR 13.1
El tutor 13.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la elaboración de pronósticos con el método de promedio móvil.

SOLUCIÓN

a. El pronóstico de promedio móvil al final de la semana 3 es:

$$F_4 = \frac{411+380+400}{3} = 397.0$$

b. El error de pronóstico para la semana 4 es:

$$E_4 = D_4 - F_4 = 415 - 397 = 18$$

c. Para elaborar el pronóstico correspondiente a la semana 5, es necesario conocer las llegadas reales durante las semanas 2 a 4; es decir, los datos de las tres semanas más recientes.

$$F_5 = \frac{415+411+380}{3} = 402.0$$

Punto de decisión Así, el pronóstico al final de la semana 3 habría sido de 397 pacientes para la semana 4, cifra inferior por 18 pacientes a la demanda real. El pronóstico para la semana 5, realizado al final de la semana 4, sería de 402 pacientes. Además, al final de la semana 4, el pronóstico para la semana 6 y las siguientes será también de 402 pacientes.

El método de promedio móvil puede requerir el uso de todos los periodos pasados de demanda que se desee. Generalmente, la estabilidad de la serie de demanda determina cuántos periodos será necesario incluir (es decir, el valor de n). Las series de demanda estables son aquellas para las cuales el promedio (que habrá de calcularse mediante el método de pronóstico) cambia solamente en forma infrecuente. Deberán utilizarse valores grandes de n en las series de demanda que sean estables, y valores pequeños de n en las que sean susceptibles a cambios en el promedio subyacente.

Considere la figura 13.5, que muestra una comparación entre las llegadas reales de pacientes y un pronóstico basado en un promedio móvil para tres y seis semanas, correspondientes a los datos de la clínica médica. Observe que el pronóstico del promedio móvil de tres semanas varía más y reacciona con mayor rapidez ante las grandes fluctuaciones de la demanda. A la inversa, el pronóstico del promedio móvil de seis semanas es más estable porque las grandes fluctuaciones de la demanda tienden a cancelarse entre sí. Se aplazará la discusión sobre cuál de los dos métodos de pronóstico es mejor para este problema hasta que se haya hablado de los criterios para la selección de métodos de series de tiempo, más adelante en este mismo capítulo.

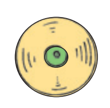
Si se incluyen más datos históricos en el promedio, incrementando el número de periodos, el resultado es un pronóstico menos susceptible a las variaciones aleatorias. Sin embargo, si el promedio fundamental de la serie está cambiando, los pronósticos tenderán a retrasarse por un intervalo de tiempo más largo con respecto a los cambios, porque se requiere tiempo adicional para eliminar del pronóstico los datos de periodos anteriores. Se analizarán otras consideraciones en torno a la selección de n en la exposición referente a cómo seleccionar un método de series de tiempo.

método de promedio móvil ponderado

Método de series de tiempo en el que cada una de las demandas históricas que intervienen en el promedio puede tener su propia ponderación; la suma de las ponderaciones es igual a 1.0.

Promedios móviles ponderados En el método de promedio móvil simple, todas las demandas tienen la misma ponderación en el promedio, es decir, $1/n$. En el **método de promedio móvil ponderado**, cada una de las demandas históricas que intervienen en el promedio puede tener su propia ponderación. La suma de las ponderaciones es igual a 1.0. Por ejemplo, en un modelo con promedio móvil ponderado de *tres periodos*, al periodo más reciente se le puede asignar una ponderación de 0.50, al segundo más reciente se le asigna una ponderación de 0.30, y al tercero más reciente, una de 0.20. El promedio se obtiene multiplicando la ponderación de cada periodo por el valor correspondiente a dicho periodo y sumando finalmente los productos:

$$F_{t+1} = 0.50D_t + 0.30D_{t-1} + 0.20D_{t-2}$$



TUTOR 13.2

El tutor 13.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la elaboración de pronósticos con el método de promedio móvil ponderado.

Encontrará un ejemplo numérico del uso del método de promedio móvil ponderado para estimar la demanda promedio en el problema resuelto 2 y el tutor 13.2 en OM Explorer.

La ventaja del método de promedio móvil ponderado es que permite destacar la demanda reciente sobre la demanda anterior. (Incluso permite manejar los efectos estacionales, si se asignan ponderaciones más altas a periodos anteriores en la misma temporada). Este pronóstico suele responder mejor a los cambios registrados en el promedio fundamental de la serie de demandas que el pronóstico de promedio móvil simple. No obstante, el pronóstico de promedio móvil ponderado seguirá retrasándose con respecto a la demanda porque sólo calcula promedios de la demanda en el *pasado*. Este retraso es especialmente notable cuando existe una tendencia, porque el promedio de la serie de tiempo se va incrementando o disminuyendo en forma sistemática.

El método de promedio móvil ponderado presenta los mismos inconvenientes que el método de promedio móvil simple: es necesario recopilar los datos de n periodos de demanda para poder calcular el promedio correspondiente a cada periodo. Recopilar esta cantidad de datos no es un gran problema en situaciones sencillas, como se vio en los ejemplos anteriores de tres y seis semanas.

método de suavizamiento exponencial

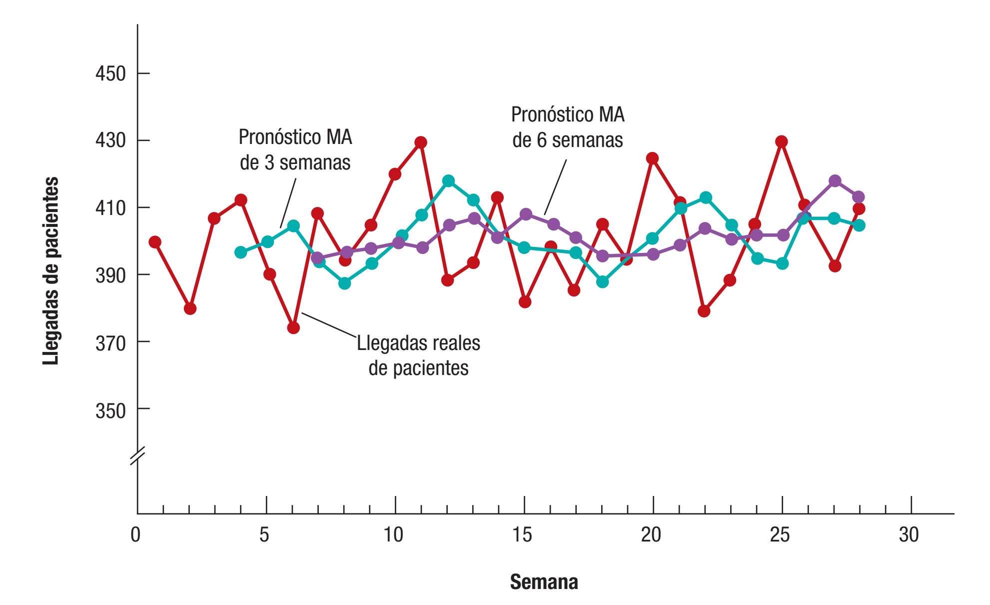
Método de promedio móvil ponderado que permite calcular el promedio de una serie de tiempo, asignando a las demandas recientes mayor ponderación que a las demandas anteriores.

Suavizamiento exponencial El **método de suavizamiento exponencial** es un método de promedio móvil ponderado muy refinado que permite calcular el promedio de una serie de tiempo, asignando a las demandas recientes mayor ponderación que a las demandas anteriores. Es el método de pronóstico formal que se usa más a menudo por su sencillez y por la reducida cantidad de datos que requiere. A diferencia del método de promedio móvil ponderado, que requiere n periodos de demanda pasada y n ponderaciones, el método de suavizamiento exponencial necesita solamente tres datos: el pronóstico del último periodo, la demanda de ese periodo y un parámetro de suavizamiento, alfa (α), cuyo valor fluctúa entre 0 y 1.0. Para elaborar un pronóstico con suavizamiento exponencial, simplemente se calcula un promedio ponderado de la demanda más reciente y el pronóstico calculado para el último periodo. La ecuación correspondiente a este pronóstico es:

$$F_{t+1} = \alpha(\text{Demanda para este periodo}) + (1 - \alpha)(\text{Pronóstico calculado para el último periodo})$$
$$= \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t$$

FIGURA 13.5

Comparación entre pronósticos de promedio móvil (MA) de tres y seis semanas



La siguiente es una ecuación equivalente:

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(D_t - F_t)$$

Esta forma de la ecuación muestra que el pronóstico para el periodo siguiente es igual al pronóstico del periodo actual más una proporción del error del pronóstico correspondiente al periodo actual.

El énfasis que se hace en los niveles de demanda más recientes puede ajustarse modificando el parámetro de suavizamiento. Los valores más grandes de α hacen énfasis en los niveles recientes de la demanda y dan lugar a pronósticos que tienen mejor capacidad de respuesta ante los cambios en el promedio fundamental. Con valores de α más pequeños, se considera más uniformemente la demanda pasada y se producen pronósticos más estables. Este método es similar al ajuste del valor de n en los métodos de promedio móvil, salvo que en estos últimos los valores menores de n ponen énfasis en la demanda reciente y los valores más grandes conceden mayor ponderación a la demanda pasada. En la práctica, se ensaya con diversos valores de α y se elige el que produzca los mejores pronósticos.

Para poner en marcha el suavizamiento exponencial se requiere un pronóstico inicial. Hay dos formas de obtener ese pronóstico inicial: usar la demanda del último periodo, o si se dispone de datos históricos, calcular el promedio de varios periodos recientes de demanda. El efecto de la estimación inicial del promedio sobre las estimaciones sucesivas del mismo disminuye a través del tiempo porque, con el suavizamiento exponencial, las ponderaciones asignadas a las demandas históricas sucesivas que se utilizan para calcular el promedio disminuyen exponencialmente. Este efecto se puede ilustrar con un ejemplo. Suponiendo que $\alpha = 0.20$, el pronóstico para el periodo $t + 1$ es:

$$F_{t+1} = 0.20D_t + 0.80F_t$$

Usando la ecuación correspondiente a F_t, se expande la ecuación para F_{t+1}:

$$F_{t+1} = 0.20D_t + 0.80(0.20D_{t-1} + 0.80F_{t-1}) = 0.20D_t + 0.16D_{t-1} + 0.64F_{t-1}$$

Continuando con la expansión, se obtiene:

$$F_{t+1} = 0.20D_t + 0.16D_{t-1} + 0.128D_{t-2} + 0.1024D_{t-3} + \cdots$$

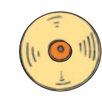
Finalmente, las ponderaciones de las demandas de hace muchos periodos se aproximan a cero. Igual que en el método de promedio móvil ponderado, la suma de las ponderaciones debe ser igual a 1.0, lo cual va implícito en la ecuación de suavizamiento exponencial.

Uso del método de suavizamiento exponencial para calcular la demanda promedio — EJEMPLO **13.3**

a. Considere nuevamente los datos sobre la llegada de pacientes del ejemplo 13.2. Ahora nos encontramos al final de la semana 3. A partir de $\alpha = 0.10$, calcule el pronóstico de suavizamiento exponencial para la semana 4.

b. ¿Cuál fue el error de pronóstico en la semana 4 si la demanda real resultó ser 415?

c. ¿Cuál es el pronóstico para la semana 5?



MODELO ACTIVO 13.3

El modelo activo 13.3 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor el impacto de las variaciones de α, usando los ejemplos de las figuras 13.4 y 13.10.

SOLUCIÓN

a. El método de suavizamiento exponencial requiere un pronóstico inicial. Suponga que tomamos los datos de demanda de las primeras dos semanas y los promediamos para obtener $(400 + 380)/2 = 390$ como pronóstico inicial. A fin de calcular el pronóstico para la semana 4, utilizando suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.10$, calculamos el promedio al final de la semana 3 como sigue:

$$F_4 = 0.10(411) + 0.90(390) = 392.1$$

Así, el pronóstico para la semana 4 sería de 392 pacientes.

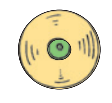
b. El error de pronóstico en la semana 4 es de:

$$E_4 = 415 - 392 = 23$$

c. El nuevo pronóstico para la semana 5 sería:

$$F_5 = 0.10(415) + 0.90(392.1) = 394.4$$

o sea, 394 pacientes. Observe que hemos utilizado F_4, y no el pronóstico en valor entero para la semana 4, en el cálculo de F_5. En general, el resultado final se redondea solamente (cuando resulta apropiado) para mantener la mayor precisión posible en los cálculos.



TUTOR 13.3

El tutor 13.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la elaboración de pronósticos con el método de suavizamiento exponencial.

Punto de decisión Con este modelo de suavizamiento exponencial, los pronósticos del analista serían de 392 pacientes para la semana 4 y 394 pacientes a partir de la semana 5. En cuanto se conociera la demanda real de la semana 5, el pronóstico para la semana 6 tendría que actualizarse.

En virtud de que el suavizamiento exponencial es sencillo y requiere un mínimo de datos, su utilización es económica y atractiva para las empresas que realizan miles de pronósticos para cada periodo. Sin embargo, su sencillez se convierte en desventaja cuando el promedio fundamental se modifica, como en el caso de las series de demanda que muestran una tendencia. Igual que con cualquier método enfocado únicamente en el supuesto de un promedio estable, los resultados del suavizamiento exponencial se retrasan con respecto a los cambios registrados en el promedio fundamental de la demanda. Los valores de α más altos pueden ayudar a reducir los errores de pronóstico cuando se produce un cambio en el promedio; sin embargo, seguirá habiendo retrasos si el promedio cambia sistemáticamente. En general, si se requieren valores grandes de α (por ejemplo, > 0.50) para una aplicación de suavizamiento exponencial, es muy probable que se requiera un modelo más complejo a causa de la presencia de una tendencia o una influencia estacional significativa en las series de demanda.

INCLUSIÓN DE UNA TENDENCIA

En seguida se considerará una serie de tiempo de la demanda con una tendencia. En una serie de tiempo, una *tendencia* es un incremento o decremento sistemático en el promedio de la serie a través del tiempo. Cuando existe una tendencia significativa, los métodos de suavizamiento exponencial deben modificarse; de lo contrario, los pronósticos siempre estarán por arriba o por debajo de la demanda real.

Para mejorar el pronóstico, es necesario calcular una estimación de la tendencia. Comenzaremos calculando la estimación *actual* de dicha tendencia, que no es sino la diferencia entre el promedio de la serie calculado en el periodo actual y el promedio calculado en el último periodo. Para obtener una estimación de la tendencia a largo plazo, se pueden promediar las estimaciones actuales. El método para estimar una tendencia es similar al que se emplea para estimar el promedio de la demanda con el suavizamiento exponencial.

método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia

El método para incorporar una tendencia en un pronóstico suavizado exponencialmente.

El método para incorporar una tendencia en un pronóstico suavizado exponencialmente se conoce como **método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia**. En este enfoque, se suavizan las estimaciones del promedio y la tendencia, para lo cual se requieren dos constantes de suavizamiento. Se calcula el promedio y la tendencia para cada periodo:

$$A_t = \alpha(\text{Demanda en este periodo}) + (1 - \alpha)(\text{Promedio + Estimación de la tendencia en el último periodo})$$
$$= \alpha D_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$
$$T_t = \beta(\text{Promedio de este periodo} - \text{Promedio del último periodo}) + (1 - \beta)(\text{Estimación de la tendencia en el último periodo})$$
$$= \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$
$$F_{t+1} = A_t + T_t$$

donde

A_t = promedio suavizado exponencialmente de la serie en el periodo t
T_t = promedio suavizado exponencialmente de la tendencia en el periodo t
α = parámetro de suavizamiento para el promedio, con un valor entre 0 y 1
β = parámetro de suavizamiento para la tendencia, con un valor entre 0 y 1
F_{t+1} = pronóstico para el periodo $t + 1$

Para realizar pronósticos para periodos posteriores al siguiente, se multiplica la estimación de la tendencia (T_t) por el número de periodos adicionales que se desea incluir en el pronóstico, y se suman los resultados al promedio actual (A_t). Así, el suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia difiere de los métodos explicados anteriormente. En esos métodos, el pronóstico para todos los periodos futuros es el mismo que el pronóstico para el siguiente periodo.

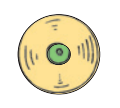
Las estimaciones del promedio y la tendencia correspondientes al último periodo que se requieren en el primer pronóstico pueden obtenerse a partir de datos del pasado o basarse en una estimación aproximada si no existen datos históricos. Para encontrar los valores de α y β, es frecuente que el analista ajuste sistemáticamente α y β hasta obtener los errores de pronóstico más bajos posibles. Este proceso se puede llevar a cabo en un ambiente experimental, usando el modelo para pronosticar las cifras históricas de demanda.

Uso del suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia para pronosticar una serie de demandas que tiene una tendencia

EJEMPLO **13.4**

Medanalysis, Inc. ofrece servicios de laboratorio clínico a los pacientes de Health Providers, una agrupación de diez médicos familiares asociados con un nuevo programa de mantenimiento de la salud. Los gerentes están interesados en pronosticar el número de solicitudes de análisis de sangre cada semana. Es preciso comprar suministros y tomar una decisión acerca del número de muestras de sangre que serán enviadas a otro laboratorio debido a las limitaciones de la capacidad del laboratorio principal. La publicidad reciente para informar al público acerca de los efectos nocivos del colesterol en el corazón ha generado un incremento en las solicitudes de análisis ordinarios de sangre en todo el país. En promedio, Medanalysis realizó 28 análisis de sangre cada semana durante las cuatro últimas semanas. La tendencia en ese periodo fue de tres pacientes adicionales por semana. La demanda en esta semana fue de 27 análisis de sangre. Se usará $\alpha = 0.20$ y $\beta = 0.20$ para calcular el pronóstico correspondiente a la semana próxima.

MODELO ACTIVO 13.4
El modelo activo 13.4 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor cómo se puede variar el valor de α y β, usando el ejemplo de la figura 13.6.



TUTOR 13.4
El tutor 13.4 en el CD-ROM del estudiante presenta otra explicación y ejemplo para practicar cómo se elaboran los pronósticos con el método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia.

SOLUCIÓN

$$A_0 = 28 \text{ pacientes} \quad \text{y} \quad T_0 = 3 \text{ pacientes}$$

El pronóstico para la semana 2 (la semana siguiente)es:

$$A_1 = 0.20(27) + 0.80(28 + 3) = 30.2$$
$$T_1 = 0.20(30.2 - 28) + 0.80(3) = 2.8$$
$$F_2 = 30.2 + 2.8 = 33 \text{ análisis de sangre.}$$

Si el número real de análisis de sangre solicitados en la semana 2 resultara ser 44, entonces el pronóstico actualizado para la semana 3 sería el siguiente:

$$A_2 = 0.20(44) + 0.80(30.2 + 2.8) = 35.2$$
$$T_2 = 0.2(35.2 - 30.2) + 0.80(2.8) = 3.2$$
$$F_3 = 35.2 + 3.2 = 38.4 \quad \text{es decir,} \quad 38 \text{ análisis de sangre.}$$

Punto de decisión Con este modelo de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, el pronóstico para la semana 2 fue de 33 análisis de sangre, y de 38 análisis de sangre para la semana 3. Si el analista elaborara los pronósticos al final de la semana 2 para los periodos posteriores a la semana 3, el pronóstico tendría que ser incluso mayor debido a la tendencia ascendente, la cual se estima en 3.2 análisis de sangre por semana.

La figura 13.6 muestra el pronóstico ajustado a la tendencia (la línea gris clarol) correspondiente a Medanalysis, para un periodo de 15 semanas. Se ha establecido α en 0.20, β en 0.20, la demanda inicial en 28 y la estimación inicial de la tendencia en 3. Al final de cada semana, se calculó un pronóstico para la semana siguiente, usando el número de análisis de sangre correspondiente a la semana actual. Observe que los pronósticos (los cuales se presentan en la tabla 13.2) varían menos que la demanda real a causa del efecto suavizador del procedimiento que se empleó para calcular las estimaciones del promedio y la tendencia. Mediante el ajuste de α y β, se puede hallar un pronóstico más apropiado.

Para elaborar pronósticos correspondientes a periodos posteriores al siguiente, se multiplica la estimación de la tendencia por el número de periodos adicionales que se desea incluir en el pronóstico y se suma el resultado al promedio actual. Por ejemplo, si al final de la semana 2 se de-

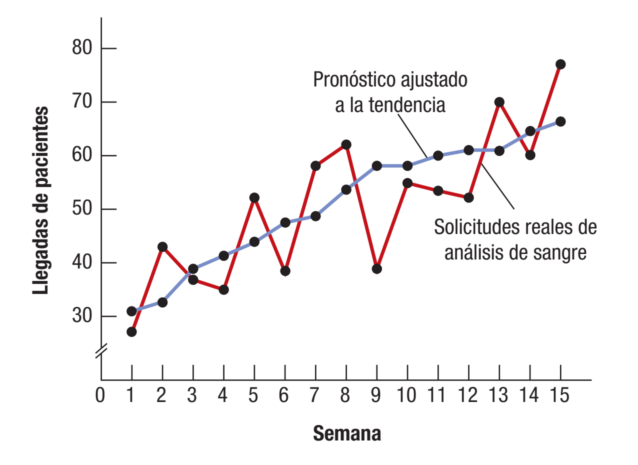


FIGURA 13.6
Pronóstico ajustado a la tendencia para Medanalysis

TABLA 13.2 Pronósticos para Medanalysis con el método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia

Semana	Llegadas	Promedio suavizado	Promedio de la tendencia	Pronóstico	Error de pronóstico
0	28	28	3		
1	27	30.20	2.84	31	−4
2	44	35.23	3.28	33.04	10.96
3	37	38.21	3.22	38.51	−1.51
4	35	40.14	2.96	41.43	−6.43
5	53	45.08	3.36	43.10	9.90
6	38	46.35	2.94	48.44	−10.44
7	57	50.83	3.25	49.29	7.71
8	61	55.46	3.52	54.08	6.92
9	39	54.99	2.72	58.99	−19.99
10	55	57.17	2.62	57.72	−2.72
11	54	58.63	2.38	59.79	−5.79
12	52	59.21	2.02	61.02	−9.02
13	60	60.99	1.97	61.24	−1.24
14	60	62.37	1.86	62.96	−2.96
15	75	66.38	2.29	64.23	10.78

seara estimar la demanda de análisis de sangre en la semana 6 (es decir, 4 semanas más adelante), el pronóstico sería de 35.23 + 4(3.28) = 48 análisis.

Una vez que llega la semana 15 y se sabe que el número real de llegadas fue de 75 pacientes, el promedio suavizado se actualiza a 66.38 y el promedio de la tendencia a 2.29. En seguida, se pueden elaborar pronósticos para varias semanas en el futuro. Por ejemplo, los pronósticos para las próximas 3 semanas serían:

Pronóstico para la semana 16 = 66.38 + (1)(2.29) = 68.67

Pronóstico para la semana 17 = 66.38 + (2)(2.29) = 70.96

Pronóstico para la semana 18 = 66.38 + (3)(2.29) = 73.25

El método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia ofrece la ventaja de que es capaz de ajustar el pronóstico a los *cambios* registrados en la tendencia. Sin embargo, cuando la tendencia está cambiando, cuanto más se proyecta hacia el futuro la estimación de la tendencia, tanto más impreciso será el pronóstico. Por eso, es conveniente restringir la utilización de los métodos de series de tiempo a los pronósticos a corto plazo.

PATRONES ESTACIONALES

Muchas organizaciones tienen una demanda estacional de sus bienes o servicios. Los patrones estacionales están formados por movimientos ascendentes o descendentes de la demanda, que se repiten con regularidad, medidos en periodos de menos de un año (horas, días, semanas, meses o trimestres). En este contexto, dichos periodos se llaman *estaciones*. Por ejemplo, la llegada de los clientes a un establecimiento de comida rápida en un día cualquiera puede alcanzar un punto máximo entre las 11 de la mañana y la 1 de la tarde, y de nuevo entre las 5 de la tarde y las 7 de la noche. En este caso, la duración del patrón estacional es de un día y cada hora del día es una estación. En forma similar, la demanda de cortes de cabello puede alcanzar un punto máximo los sábados, semana tras semana. En este caso, el patrón estacional dura una semana y las estaciones son los días de la semana. También es posible que los patrones estacionales duren un mes, como en el caso de las solicitudes semanales de renovación de licencias de conductor, o tal vez un año, como sucede con los volúmenes mensuales de correspondencia procesada y la demanda mensual de neumáticos para automóvil.

Una manera sencilla de tomar en cuenta los efectos estacionales es usar una de las técnicas ya descritas, pero limitando los datos de la serie de tiempo a periodos de la misma estación. Por ejemplo, para un efecto estacional de un día de la semana, una serie de tiempo correspondería a los lunes, otra a los martes, y así sucesivamente. Si se usa el pronóstico empírico, el pronóstico

para este martes es la demanda real de hace siete días (la del martes pasado), en vez de la demanda real de hace un día (la del lunes). Si se usa el método del promedio móvil ponderado, se atribuyen ponderaciones altas a los periodos anteriores que pertenecen a la misma estación. Estos métodos toman en cuenta los efectos estacionales, pero tienen la desventaja de que descartan una cantidad considerable de información sobre la demanda pasada.

Existen varios métodos para analizar todos los datos del pasado, usando un modelo para pronosticar la demanda en todas las estaciones. Aquí se describirá solamente el **método estacional multiplicativo**, en el cual los factores estacionales se multiplican por una estimación de la demanda promedio y así se obtiene un pronóstico estacional. El procedimiento en cuatro pasos que aquí se presenta requiere el uso de promedios simples de la demanda pasada, pero también podrían usarse otros métodos más complejos para calcular promedios, como los de promedio móvil o suavizamiento exponencial. La siguiente descripción está basada en un patrón estacional con un año de duración y estaciones equivalentes a un mes, aunque el procedimiento se puede utilizar con cualquier patrón estacional y con estaciones de cualquier duración.

método estacional multiplicativo
Método en el cual los factores estacionales se multiplican por una estimación de la demanda promedio y así se obtiene un pronóstico estacional.

1. Para cada año, calcule la demanda promedio por estación, dividiendo la demanda anual entre el número de estaciones por año. Por ejemplo, si la demanda total de un año es de 6,000 unidades y cada mes representa una estación, la demanda promedio por estación será de 6,000/12 = 500 unidades.
2. Para cada año, divida la demanda real correspondiente a una estación entre la demanda promedio por estación. El resultado así obtenido será un *índice estacional* para cada una de las estaciones del año, el cual indica el nivel de la demanda en relación con la demanda promedio. Por ejemplo, suponga que la demanda de marzo fue de 400 unidades. Entonces, el índice estacional de marzo es de 400/500 = 0.80, lo que indica que la demanda de marzo es 20% inferior a la demanda promedio por mes. Asimismo, un índice estacional de 1.14 para abril implica que la demanda de abril es 14% mayor que la demanda promedio por mes.
3. Calcule el índice estacional promedio para cada estación, usando los resultados del paso 2. Sume los índices estacionales para una estación dada y divídalos entre el número de años que abarquen los datos. Por ejemplo, suponga que se han calculado tres índices estacionales para abril: 1.14, 1.18 y 1.04. El índice estacional promedio de abril es (1.14 + 1.18 + 1.04)/3 = 1.12. Éste es el índice que se usará para pronosticar la demanda de abril.
4. Calcule el pronóstico de cada estación para el año siguiente. Comience con el cálculo de la demanda promedio por estación para el año siguiente. Use el método empírico, los promedios móviles, el suavizamiento exponencial, el suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, o la regresión lineal, para elaborar el pronóstico de la demanda anual. Divida luego la demanda anual entre el número de estaciones por año. Encuentre finalmente el pronóstico estacional, multiplicando el índice estacional por la demanda promedio por estación.

Al final de cada año, se puede actualizar el factor estacional promedio de cada estación. Se calcula el promedio de todos los factores históricos correspondientes a la estación o, si se necesita tener cierto control sobre la pertinencia de los patrones de la demanda pasada, se calcula un promedio móvil o un promedio sencillo con suavizamiento exponencial.

Uso del método estacional multiplicativo para pronosticar el número de clientes

EJEMPLO **13.5**

El gerente de la compañía Stanley Steemer, que se dedica a lavar alfombras, necesita un pronóstico trimestral del número esperado de clientes para el año siguiente. El negocio de la limpieza de alfombras es estacional, con un punto máximo en el tercer trimestre y uno mínimo en el primer trimestre. A continuación se presentan los datos de la demanda trimestral registrada en los cuatro últimos años:

Trimestre	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
1	45	70	100	100
2	335	370	585	725
3	520	590	830	1,160
4	100	170	285	215
Total	1,000	1,200	1,800	2,200

El gerente desea pronosticar la demanda de clientes en cada trimestre del año 5, basándose en una estimación de que la demanda total durante el año 5 será de 2,600 clientes.

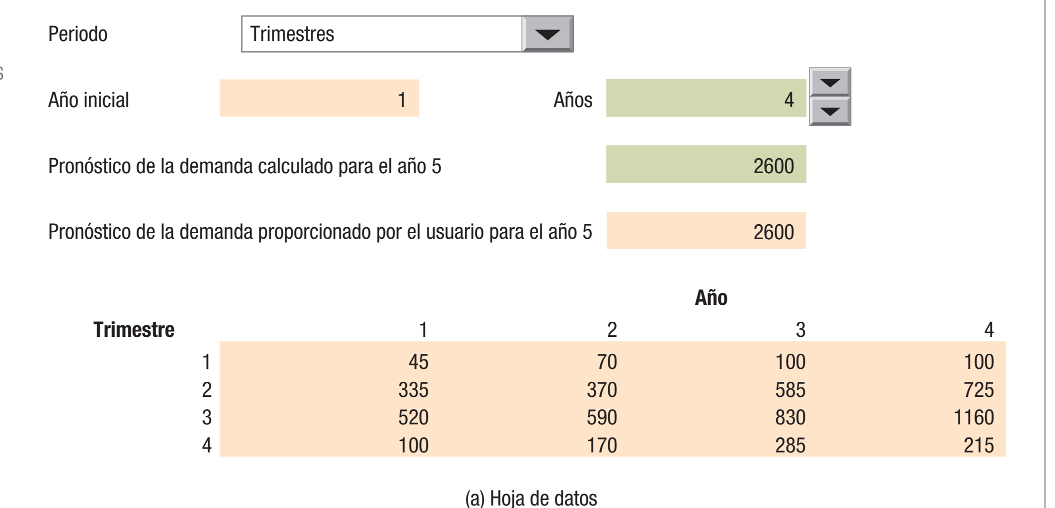
SOLUCIÓN

La figura 13.7 muestra la solución obtenida con el solver de pronósticos estacionales de OM Explorer. (Encontrará un ejemplo numérico calculado manualmente en el problema resuelto 5, que se presenta al final de este capítulo). Para la hoja de datos, se necesita un pronóstico de la demanda total en el año 5. La demanda anual ha estado aumentando en promedio 400 clientes cada año (de 1,000 en el año 1 a 2,200 en el año 4; esto es, 1,200/3 = 400). El pronóstico de la demanda se calcula extendiendo dicha tendencia y proyectando la demanda anual en el año de 2,200 + 400 = 2,600 clientes. También se puede usar la opción de un pronóstico proporcionado por el usuario, si el gerente desea hacer un pronóstico de juicio basado en información adicional.

La hoja de resultados muestra los pronósticos trimestrales, multiplicando los factores estacionales por la demanda promedio por trimestre. Por ejemplo, el pronóstico de la demanda promedio en el año 5 es de 650 clientes (o 2,600/4 = 650). Esta cantidad se multiplica por el índice estacional calculado para el primer trimestre y se obtiene un pronóstico de 133 clientes (o 650 × 0.2043 = 132.795).

FIGURA 13.7

Pronósticos de la demanda obtenidos con el *Solver* de pronósticos estacionales de OM Explorer



Periodo	Trimestres
Año inicial	1
Años	4
Pronóstico de la demanda calculado para el año 5	2600
Pronóstico de la demanda proporcionado por el usuario para el año 5	2600

	Año			
Trimestre	1	2	3	4
1	45	70	100	100
2	335	370	585	725
3	520	590	830	1160
4	100	170	285	215

(a) Hoja de datos

Trimestre	**Estacional Índice**	**Pronóstico**
1	0.2043	132.795
2	1.2979	843.635
3	2.0001	1300.065
4	0.4977	323.505

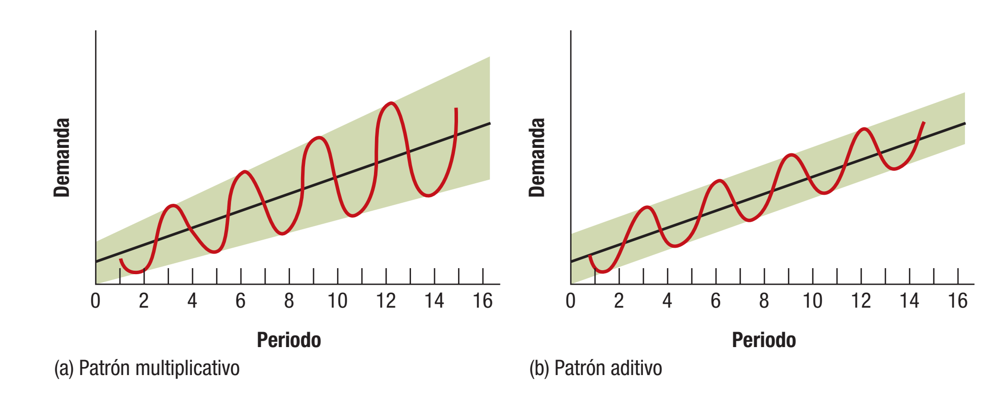
(b) Resultados

Punto de decisión Con este método estacional, el analista elabora un pronóstico de demanda mínima de 133 clientes en el primer trimestre y máxima de 1,300 clientes en el tercer trimestre. La estación del año establece una diferencia muy clara.

El método estacional multiplicativo recibe su nombre de la forma en que se calculan y utilizan los factores estacionales. Multiplicar el factor estacional por una estimación de la demanda promedio durante el periodo implica que el patrón estacional depende del nivel de la demanda. Los picos y los valles son más pronunciados cuando la demanda promedio es alta; situación que a menudo enfrentan las empresas que producen bienes y servicios caracterizados por una demanda estacional. La figura 13.8(a) muestra una serie de tiempo con un patrón estacional multiplicativo. Observe cómo va aumentando la amplitud de las estaciones, lo que refleja una tendencia ascendente de la demanda. Sucede lo contrario cuando la demanda tiene una tendencia descendente. Otra opción, en lugar del método estacional multiplicativo, es el **método estacional aditivo**, en el cual los pronósticos estacionales se obtienen sumando una constante (por ejemplo, 50 unidades) a la estimación de la demanda promedio por estación. Este método se basa en la suposición de que el patrón estacional es constante, cualquiera que sea la demanda promedio. La figura 13.8(b) muestra una serie de tiempo con un patrón estacional aditivo. En este caso, la amplitud de las estaciones se mantiene siempre idéntica, independientemente de cuál sea el nivel de la demanda.

método estacional aditivo

Método en el cual los pronósticos estacionales se obtienen sumando una constante a la estimación de la demanda promedio por estación.



(a) Patrón multiplicativo (b) Patrón aditivo

FIGURA 13.8 Comparación de patrones estacionales

SELECCIÓN DE UN MÉTODO DE SERIES DE TIEMPO

Ahora se estudiarán los factores que los gerentes deben tomar en cuenta al seleccionar un método para elaborar pronósticos con series de tiempo. Una consideración importante es el desempeño del pronóstico, el cual determinan los errores de pronóstico. Los gerentes tienen que aprender a medir los errores de pronóstico y la forma de detectar cuando algo marcha mal en el sistema de pronóstico. Después de examinar los errores de pronóstico y su detección, se explicarán los criterios que los gerentes pueden aplicar para seleccionar un método apropiado de pronóstico con series de tiempo.

ERROR DE PRONÓSTICO

Los pronósticos casi siempre contienen errores. Los errores de pronóstico se clasifican en dos formas: ya sea como *errores de sesgo* o como *errores aleatorios*. Los errores de sesgo son el resultado de equivocaciones sistemáticas, por lo cual se observa que el pronóstico siempre es demasiado alto o demasiado bajo. Con frecuencia, esos errores son el resultado de pasar por alto o no estimar correctamente los patrones de la demanda, como los de tendencia, los estacionales o los cíclicos.

El otro tipo de error de pronóstico, el error aleatorio, es el resultado de factores imprevisibles que provocan que el pronóstico se desvíe de la demanda real. Los analistas de pronósticos intentan minimizar los efectos de los errores de sesgo y los errores aleatorios, seleccionando modelos de pronóstico apropiados, pero es imposible suprimir los errores en todas sus formas.

Mediciones del error de pronóstico La definición presentada anteriormente del error de pronóstico para un periodo determinado ($E_t = D_t - F_t$) es el punto de partida para crear varias medidas del error de pronóstico que abarcan un periodo relativamente largo.

La **suma acumulada de errores de pronóstico (CFE)** (del inglés *cumulative sum of forecast errors*) mide el error total de un pronóstico:

suma acumulada de errores de pronóstico (CFE) Medida del error total de pronóstico, que evalúa el sesgo en un pronóstico.

$$\text{CFE} = \sum E_t$$

Los grandes errores positivos tienden a compensarse con grandes errores negativos en la medida de la CFE. Sin embargo, la CFE resulta útil para evaluar el *sesgo* de un pronóstico. Por ejemplo, si un pronóstico siempre resulta más bajo que la demanda real, el valor de la CFE será cada vez más grande. Este error de magnitud creciente indica que existe una deficiencia sistemática en el método de pronóstico. Es posible que el analista haya omitido un elemento de tendencia o un patrón cíclico, o tal vez las influencias estacionales hayan cambiado con respecto a su patrón histórico. Observe que el error de pronóstico promedio es simplemente:

$$\bar{E} = \frac{\text{CFE}}{n}$$

El **error cuadrático medio (MSE)** (del inglés *mean squared error*), la **desviación estándar (σ)** y la **desviación media absoluta (MAD)** (del inglés *mean absolute deviation*) miden la dispersión de los errores de pronóstico:

error cuadrático medio (MSE) Medida de la dispersión de los errores de pronóstico.

desviación estándar (σ) Medida de la dispersión de los errores de pronóstico.

desviación media absoluta (MAD) Medida de la dispersión de los errores de pronóstico.

$$\text{MSE} = \frac{\sum E_t^2}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (E_t - \bar{E})^2}{n-1}}$$

$$\text{MAD} = \frac{\sum |E_t|}{n}$$

El símbolo matemático || se usa para indicar el valor absoluto; es decir, indica que debe hacerse caso omiso de los signos positivos o negativos. Si el valor del MSE, la σ o la MAD es pequeño, el pronóstico se aproxima generalmente a la demanda real; en contraste, un valor grande indica la posibilidad de errores de pronóstico considerables. Las dos medidas difieren por la forma en que ponen de relieve los errores. Los errores grandes reciben una ponderación mucho mayor en el MSE y la σ porque en estos casos los errores son cuadráticos. La MAD es una medida muy común del error de pronóstico porque los gerentes la comprenden fácilmente; se trata simplemente de la media de los errores de pronóstico a través de una serie de periodos, sin considerar si dichos errores consistieron en estimaciones excesivas o en subestimaciones. La MAD también se usa en señales de rastreo y control de inventarios. Más adelante se explicará cómo se puede usar la MAD o la σ para determinar los volúmenes de seguridad requeridos para diversos elementos de inventario.

error porcentual medio absoluto (MAPE)

Medida que relaciona el error de pronóstico con el nivel de la demanda, y es útil para colocar el desempeño del pronóstico en su perspectiva correcta.

El **error porcentual medio absoluto (MAPE)** (del inglés *mean absolute percent error*) relaciona el error de pronóstico con el nivel de la demanda, y es útil para colocar el desempeño del pronóstico en su perspectiva correcta:

$$\text{MAPE} = \frac{(\Sigma |E_t| / D_t)(100)}{n} \text{ (expresado como porcentaje)}$$

Por ejemplo, un error de pronóstico absoluto de 100 provoca un error porcentual mayor cuando la demanda es de 200 unidades que cuando la demanda es de 10,000 unidades. MAPE es la mejor medida de error que puede usarse para hacer comparaciones entre series de tiempo para diferentes SKU.

EJEMPLO 13.6 Cálculo de medidas del error de pronóstico

La tabla siguiente muestra las ventas reales de sillones tapizados que realizó un fabricante de muebles y los pronósticos correspondientes a cada uno de los últimos ocho meses. Calcule la CFE, MSE, σ, MAD y MAPE para este producto.

Mes, t	Demanda, D_t	Pronóstico, F_t	Error, E_t	Error cuadrático, E_t^2	Error absoluto, $\|E_t\|$	Error porcentual absoluto, $(\|E_t\|/D_t)(100)$
1	200	225	−25	625	25	12.5%
2	240	220	20	400	20	8.3
3	300	285	15	225	15	5.0
4	270	290	−20	400	20	7.4
5	230	250	−20	400	20	8.7
6	260	240	20	400	20	7.7
7	210	250	−40	1,600	40	19.0
8	275	240	35	1,225	35	12.7
		Total	−15	5,275	195	81.3%

SOLUCIÓN

Usando las fórmulas de cada una de las medidas, se obtiene:

Error de pronóstico acumulado (sesgo): CFE = −15

Error de pronóstico promedio (sesgo promedio): $\bar{E} = \frac{\text{CFE}}{8} = -1.875$

Error cuadrático medio: $\text{MSE} = \frac{\Sigma E_t^2}{n} = \frac{5{,}275}{8} = 659.4$

Desviación estándar: $\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma[E_t - (-1.875)]^2}{7}} = 27.4$

Desviación media absoluta: $\text{MAD} = \frac{\Sigma |E_t|}{n} = \frac{195}{8} = 24.4$

Error porcentual medio absoluto: $$\text{MAPE} = \frac{[\Sigma |E_t| / D_t]\,100}{n} = \frac{81.3\%}{8} = 10.2\%$$

Una CFE de –15 indica que el pronóstico tiene una ligera tendencia a sobrestimar la demanda. Las estadísticas del MSE, σ y MAD proporcionan medidas de la variabilidad del error de pronóstico. Una MAD de 24.4 significa que el error de pronóstico promedio fue de 24.4 unidades en valor absoluto. El valor de σ, 27.4, indica que la distribución de los errores de pronóstico dentro de la muestra tiene una desviación estándar de 27.4 unidades. Un MAPE de 10.2% implica que, en promedio, el error de pronóstico fue de más o menos 10% de la demanda real observada. Estas medidas se vuelven más confiables a medida que aumenta el número de periodos de datos.

Punto de decisión Aunque razonablemente satisfecho con estos resultados del desempeño de los pronósticos, el analista decidió poner a prueba algunos métodos de pronóstico adicionales antes de llegar a un método de pronóstico final para utilizarlo en el futuro.

señal de rastreo
Medida que indica si un método de pronóstico está previendo con precisión los cambios reales de la demanda.

Señales de rastreo La **señal de rastreo** es una medida que indica si un método de pronóstico está previendo con precisión los cambios reales de la demanda. La señal de rastreo mide el número de las MAD representadas por la suma acumulada de errores de pronóstico, es decir, la CFE. La CFE tiende a ser 0 cuando se utiliza un sistema de pronóstico correcto. Sin embargo, los errores aleatorios pueden hacer que en cualquier momento la CFE se convierta en un número diferente de cero. La fórmula de la señal de rastreo es:

$$\text{Señal de rastre} = \frac{\text{CFE}}{\text{MAD}}$$

En cada periodo, la CFE y la MAD se actualizan para que reflejen el error actual y se compara la señal de rastreo con ciertos límites predeterminados. La MAD se puede calcular en una de las dos formas siguientes: (1) como el promedio simple de todos los errores absolutos (como se demuestra en el ejemplo 13.6), o (2) como un promedio ponderado que se determina mediante el método de suavizamiento exponencial:

$$\text{MAD}_t = \alpha |E_t| + (1-\alpha)\text{MAD}_{t-1}$$

Si los errores de pronóstico están distribuidos normalmente, con una media de 0, la relación simple entre la σ y la MAD es simple:

$$\sigma = (\sqrt{\pi/2})(\text{MAD}) \cong 1.25(\text{MAD})$$
$$\text{MAD} = 0.7978\sigma \cong 0.8\sigma$$

donde

$$\pi = 3.1416$$

Esta relación permite el uso de tablas de probabilidad normal para especificar los límites de la señal de rastreo. Si dicha señal queda fuera de esos límites, eso indica que el modelo de pronóstico ya no está reflejando correctamente la demanda. Un sistema de rastreo es útil cuando se utilizan modelos de pronóstico computarizados, porque advierte a los analistas cuando los pronósticos se apartan de los límites deseables. La tabla 13.3 muestra el área de la distribución de probabilidad normal dentro de los límites de control de 1 a 4 MAD.

La figura 13.9 muestra los resultados de la señal de rastreo correspondientes a 23 periodos que se han representado en un *gráfico de control*. Estos gráficos son útiles para determinar si es necesario adoptar alguna medida para mejorar el modelo de pronóstico. En el ejemplo, los 20 primeros puntos están agrupados alrededor de 0, como cabe esperar cuando los pronósticos no muestran sesgos. La CFE tenderá hacia 0. Cuando las características fundamentales de la demanda cambian, pero el modelo de pronóstico no se modifica, la señal de rastreo se sale finalmente de control. El incremento constante que se aprecia en la figura 13.9 a partir del vigésimo punto indica que el proceso empieza a salirse de control. Los puntos 21 y 22 todavía son aceptables, pero el 23 ya no lo es.

Rangos del error de pronóstico El cálculo de la MAD también proporciona información adicional. Los pronósticos expresados mediante un solo valor, por ejemplo, 1,200 unidades o 26 clientes, rara vez son útiles porque no indican el rango de errores probables que cada pronóstico genera típicamente. Sería mucho más útil un método que le mostrara al gerente un valor de pronóstico y un rango de error. Por ejemplo, suponga que el valor pronosticado para un producto es de 1,000 unidades, con una MAD de 20 unidades. La tabla 13.3 muestra que existe un 95% de probabilidades de que la demanda real se encuentre dentro de un valor ±2.5 MAD del pronóstico; esto significa que para un pronóstico de 1,000 unidades, se puede afirmar, con un nivel de confianza de 95%, que la demanda real se encontrará dentro del rango comprendido entre 950 y 1,050 unidades.

TABLA 13.3 Porcentaje del área de la distribución de probabilidad normal dentro de los límites de control de la señal de rastreo

Dispersión del límite de control (número de MAD)	Número equivalente de σ*	Porcentaje del área dentro de los límites de control†
±1.0	±0.80	57.62
±1.5	±1.20	76.98
±2.0	±1.60	89.04
±2.5	±2.00	95.44
±3.0	±2.40	98.36
±3.5	±2.80	99.48
±4.0	±3.20	99.86

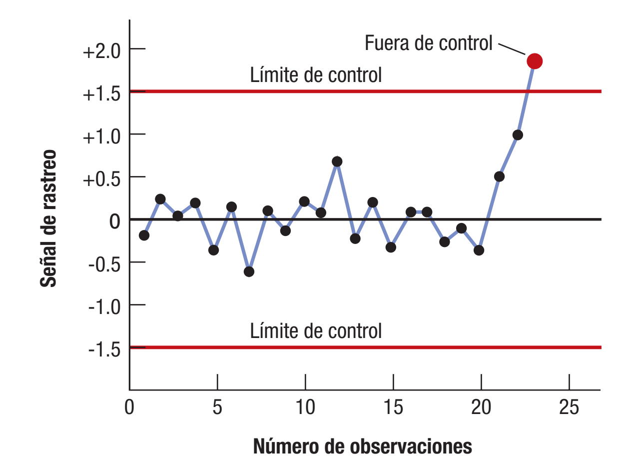
*Para encontrar el número equivalente de desviaciones estándar, se usa la aproximación de MAD = 0.8σ.

†El área de la curva normal incluida dentro de los límites de control se localiza en el apéndice I. Por ejemplo, el área acumulada desde $-\infty$ hasta 0.80σ es 0.7881. El área entre 0 y $+0.80\sigma$ es 0.7881 – 0.5000 = 0.2881. Puesto que la curva normal es simétrica, el área entre -0.80σ y 0 también es 0.2881. Por lo tanto, el área entre $\pm 0.80\sigma$ es 0.2881 + 0.2881 = 0.5762.

Soporte computarizado El soporte computarizado, como el que brinda *OM Explorer,* facilita los cálculos del error cuando se evalúa si los modelos de pronóstico coinciden con los datos pasados (es decir, con el *archivo de historial*). La figura 13.10 muestra los resultados del *Solver* de pronósticos de series de tiempo, cuando se aplica a las llegadas de los pacientes a la clínica médica (véase el gráfico original en la figura 13.4). Se evalúan cuatro modelos diferentes: pronósticos empíricos (que se obtienen con promedios móviles cuando $n = 1$), promedios móviles ponderados ($n = 3$), suavizamiento exponencial ($\alpha = 0.10$), y suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia ($\alpha = 0.10$; $\beta = 0.10$). La figura 13.10(a) es una hoja de cálculo que permite seleccionar los métodos que se evaluarán y después calcula los errores resultantes de cada método periodo por periodo. Deben seleccionarse pronósticos iniciales para los métodos de suavizamiento exponencial y suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia. Aquí, simplemente se igualarán a la demanda real de la semana del 2 de enero de 2006. Otros puntos de partida razonables no afectarían los resultados de manera significativa.

La figura 13.10(b) muestra las diferentes medidas de error en todo el archivo de historial por cada método evaluado. En el caso de la clínica médica, el modelo de suavizamiento exponencial es el que mejor se ajusta a los datos anteriores en función de MAPE (3.54%), MSE (293.39) y MAD (14.42). Es peor que el promedio móvil ponderado en la CFE o sesgo (75.26 frente a 14.10). Para evaluar otras versiones de estos modelos, se podrían probar otros valores razonables de n, α y β.

FIGURA 13.9
Señal de rastreo



Promedio móvil de 1 periodo	Promedio móvil ponderado de 3 periodos		Suavizamiento exponencial		Suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia	
	Introducir ponderaciones					
	Más reciente	0.70	α	0.10	α	0.10
	2a. más reciente	0.20	Pronóstico inicial	400	β	0.10
	3a. más reciente	0.10			Promedio inicial	400
			Pronóstico inicial = prom. de los primeros 3 periodos		Tendencia inicial	0

Datos reales		Promedio móvil de 1 periodo			Promedio móvil ponderado de 3 periodos			Suavizamiento exponencial			Suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia		
		Pronóstico	Error	CFE	Pronóstico	Error	CFE	Pronóstico	Error	CFE	Pronóstico	Error	CFE
1/2/2006	400							400.00	0.00	0.00	400.00	0.00	0.00
1/9/2006	380	400.00	−20.00	−20.00				400.00	−20.00	−20.00	400.00	−20.00	−20.00
1/16/2006	411	380.00	31.00	11.00				398.00	13.00	−7.00	397.80	13.20	−6.80
1/23/2006	415	411.00	4.00	15.00	403.70	11.30	11.30	399.30	15.70	8.70	399.05	15.95	9.15
1/30/2006	393	415.00	−22.00	−7.00	410.70	−17.70	−6.40	400.87	−7.87	0.83	400.74	−7.74	1.41
2/6/2006	375	393.00	−18.00	−25.00	399.20	−24.20	−30.60	400.08	−25.08	−24.25	399.98	−24.98	−23.57
2/13/2006	410	375.00	35.00	10.00	382.60	27.40	−3.20	397.57	12.43	−11.83	397.25	15.75	−10.81
2/20/2006	395	410.00	−15.00	−5.00	401.30	−6.30	−9.50	398.82	−3.82	−15.64	398.41	−3.41	−14.23
2/27/2006	406	395.00	11.00	6.00	396.00	10.00	0.50	398.44	7.56	−8.08	397.93	8.07	−6.16
3/6/2006	424	406.00	18.00	24.00	404.20	19.80	20.30	399.19	24.81	16.73	398.67	25.33	19.17
3/13/2006	433	424.00	9.00	33.00	417.50	15.50	35.80	401.67	31.33	48.05	401.40	31.60	50.77
3/20/2006	391	433.00	−42.00	−9.00	428.50	−37.50	−1.70	404.81	−13.81	34.25	405.07	−14.07	36.71
3/27/2006	396	391.00	−5.00	−4.00	402.70	−6.70	−8.40	403.42	−7.42	26.82	404.03	−8.03	28.68
4/3/2006	417	396.00	21.00	17.00	398.70	18.30	9.90	402.68	14.32	41.14	403.51	13.49	42.17
4/10/2006	383	417.00	−34.00	−17.00	410.20	−27.20	−17.30	404.11	−21.11	20.03	405.28	−22.28	19.89
4/17/2006	402	383.00	19.00	2.00	391.10	10.90	−6.40	402.00	0.00	20.03	403.25	−1.25	18.63
4/24/2006	387	402.00	−15.00	−13.00	399.70	−12.70	−19.10	402.00	−15.00	5.02	403.31	−16.31	2.32
5/1/2006	410	387.00	23.00	10.00	389.60	20.40	1.30	400.50	9.50	14.52	401.71	8.29	10.61
5/8/2006	398	410.00	−12.00	−2.00	404.60	−6.60	−5.30	401.45	−3.45	11.07	402.64	−4.64	5.97
5/15/2006	433	398.00	35.00	33.00	399.30	33.70	28.40	401.11	31.89	42.96	402.24	30.73	36.74
5/22/2006	415	433.00	−18.00	15.00	423.70	−8.70	19.70	404.30	10.70	53.67	405.68	9.32	46.06
5/29/2006	380	415.00	−35.00	−20.00	416.90	−36.90	−17.20	405.37	−25.37	28.30	407.07	−27.07	18.98
6/5/2006	394	380.00	14.00	−6.00	392.30	1.70	−15.50	402.83	−8.83	19.47	404.56	−10.56	8.43
6/12/2006	412	394.00	18.00	12.00	393.30	18.70	3.20	401.95	10.05	29.52	403.58	8.42	16.84
6/19/2006	439	412.00	27.00	39.00	405.20	33.80	37.00	402.95	36.05	65.57	404.59	34.41	51.25
6/26/2006	416	439.00	−23.00	16.00	429.10	−13.10	23.90	406.56	9.44	75.01	408.55	7.45	58.70
7/3/2006	395	416.00	−21.00	−5.00	420.20	−25.20	−1.30	407.50	−12.50	62.51	409.88	−14.88	43.82
7/10/2006	419	395.00	24.00	19.00	403.60	15.40	14.10	406.25	12.75	75.26	408.83	10.17	53.99

FIGURA 13.10(a) Hoja de datos del *Solver* de pronósticos de series de tiempo para las llegadas de pacientes a la clínica médica

La figura 13.10(b) también muestra los pronósticos para el periodo siguiente. Los pronósticos para todos los periodos futuros que se realizan en este momento (el final del archivo de historial) son idénticos a los pronósticos para el periodo siguiente. La única excepción sería el método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, el cual proporciona pronósticos para varios periodos futuros que toman en cuenta la estimación de la tendencia más reciente (0.54 por semana). Si se selecciona el método de suavizamiento exponencial para elaborar los pronósticos del periodo siguiente (debido a su buen desempeño a la fecha), la expectativa sería de 408 pacientes (el resultado del cálculo es 407.53). El pronóstico sería de 414 pacientes (el resultado del cálculo es 413.90) con el método de promedio móvil ponderado. El promedio de estas dos cifras (véase *pronósticos combinados* en la siguiente sección) daría un pronóstico de 411 pacientes.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE MÉTODOS DE SERIES DE TIEMPO

FLas medidas de los errores de pronóstico proporcionan información importante para seleccionar el mejor método de pronóstico para un producto o servicio. Además, guían a los gerentes en la selección de los valores más adecuados de los parámetros que el método requiere: n para el método de promedio móvil, las ponderaciones para el método de promedio móvil ponderado y α para el método de suavizamiento exponencial. Entre los criterios que se aplican para seleccionar el método de pronóstico y los parámetros respectivos figuran: (1) minimizar los sesgos; (2) minimizar los valores de MAPE, MAD y MSE; (3) satisfacer las expectativas de la gerencia acerca de los cambios en los componentes de la demanda, y (4) minimizar el error de pronóstico del último periodo. Los primeros dos criterios se relacionan con medidas estadísticas que se basan en el desempeño histórico; el tercero refleja las expectativas del futuro que pueden no estar arraigadas en el pasado; y el cuarto se refiere a la forma de usar cualquier método que parezca dar mejor resultado en el momento en que sea necesario hacer el pronóstico.

FIGURA 13.10(b)

Hoja de resultados

Método 1 – Promedio móvil:

Promedio móvil de 1 periodo

Pronóstico para el 17/07/06	419.00
CFE	19.00
MAD	21.07
MSE	532.41
MAPE	5.22%

Método 2 – Promedio móvil ponderado:

Promedio móvil ponderado para 3 periodos

Pronóstico para el 17/07/06	413.90
CFE	14.10
MAD	18.39
MSE	437.07
MAPE	4.54%

Método 3 – Suavizamiento exponencial:

α	0.10
Pronóstico inicial	400.00
Pronóstico para el 17/07/06	407.53
CFE	75.26
MAD	14.42
MSE	293.39
MAPE	3.54%

Método 4 – Suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia:

α	0.10
β	0.10
Promedio inicial	400.00
Tendencia inicial	0.00
Promedio del último periodo	409.85
Tendencia del último periodo	0.54
Pronóstico para el 17/07/06	410.39
Pronóstico para el 24/07/06	410.93
Pronóstico para el 31/07/06	411.47
Pronóstico para el 7/08/06	412.01
Pronóstico para el 14/08/06	412.55
Pronóstico para el 21/08/06	413.03
CFE	53.99
MAD	14.44
MSE	303.82
MAPE	3.69%

Uso de criterios estadísticos En la selección de un método de pronóstico se pueden usar medidas estadísticas del desempeño. Los siguientes lineamientos son útiles para buscar los mejores modelos de series de tiempo:

1. Si se trata de proyecciones de patrones de demanda más estables, use valores más bajos de α y β, o valores más altos de n, a fin de hacer énfasis en la experiencia histórica.
2. Para proyecciones de patrones de demanda más dinámicos, en los que se usan los modelos explicados en este capítulo, use valores más altos de α y β, o valores más bajos de n. Cuando los patrones de demanda históricos están cambiando, es conveniente hacer énfasis en la historia reciente.

A menudo, el pronosticador tiene que establecer un equilibrio entre el sesgo (CFE) y las medidas de dispersión del error de pronóstico (MAPE, MAD y MSE). Los gerentes también deben reconocer que la mejor técnica para explicar los datos pasados no es necesariamente la mejor para pronosticar el futuro, y que puede ser engañoso adaptar un modelo estadístico a los datos observados en el pasado usando un número excesivo de parámetros. Un método de pronóstico puede tener errores pequeños en relación con el archivo de historial, pero genera grandes errores en las estimaciones de periodos futuros. Por esta razón, algunos analistas prefieren usar un **conjunto de reserva** como prueba definitiva. Para ello, separan algunos de los periodos más recientes de la serie de tiempo y usan solamente los periodos más antiguos para desarrollar y probar diferentes modelos. Una vez que se han seleccionado los modelos finales en la primera fase, se prueban de nuevo con el conjunto de reserva. Las medidas del desempeño, como MAPE y CFE, se siguen usando, pero sólo se aplican a la muestra de reserva. Sea que esta idea se ponga en práctica o no, los gerentes deben monitorear los errores de pronóstico en el futuro, tal vez con señales de rastreo, y modificar los métodos de pronóstico según se requiera. El mantenimiento de datos sobre el desempeño de los pronósticos es la máxima prueba de la eficacia de éstos, y no cómo se adapta el modelo a los datos pasados o las muestras de reserva.

conjunto de reserva

Demandas reales de los periodos más recientes de la serie de tiempo, las cuales se reservan para probar los diferentes modelos desarrollados a partir de los periodos más antiguos.

USO DE MÚLTIPLES TÉCNICAS

Se han descrito varios métodos de pronóstico individuales y se ha mostrado cómo se evalúa el desempeño de los pronósticos. Sin embargo, no es conveniente depender de un solo método de

pronóstico. Por ejemplo, Unilever y Wal-Mart combinan varios pronósticos diferentes para obtener un pronóstico final. Se distribuyen pronósticos estadísticos iniciales que usan varios métodos de series de tiempo y regresión a personas conocedoras, como los directores de marketing y los equipos de vendedores, para que los ajusten. Ellos pueden dar cuenta de condiciones actuales del mercado y los clientes, que no necesariamente están reflejadas en los datos históricos. Se pueden obtener múltiples pronósticos de los diferentes equipos de vendedores y algunos de estos equipos tal vez tengan un mejor historial que otros con respecto a los errores de pronóstico. Por último, el proceso colaborativo de CPFR introduce pronósticos de los proveedores e incluso de los clientes. Dos de los métodos que utilizan varias técnicas de pronóstico al mismo tiempo son: (1) los pronósticos combinados, y (2) los pronósticos enfocados.

PRONÓSTICOS COMBINADOS

Los estudios realizados en las dos últimas décadas indican que la combinación de pronósticos provenientes de múltiples fuentes a menudo produce pronósticos más precisos. Los **pronósticos combinados** son aquellos que se producen promediando pronósticos independientes basados en diferentes métodos, en diferentes datos, o en ambas cosas. Resulta interesante que los pronósticos combinados suelen funcionar mejor a la larga que los obtenidos con el *mejor* procedimiento de pronóstico individual. Por ejemplo, suponga que el pronóstico para el siguiente periodo es de 100 unidades según la técnica 1 y de 120 unidades según la técnica 2, y que la técnica 1 ha proporcionado los pronósticos más precisos hasta el momento. El pronóstico combinado para el siguiente periodo, dando igual ponderación a cada técnica, es de 110 unidades (esto es, $0.5 \times 100 + 0.5 \times 120$). Cuando esta técnica de promedio se usa sistemáticamente para hacer cálculos a futuro, los pronósticos combinados a menudo son mucho más precisos que los de cualquier técnica de pronóstico por sí sola, por buena que sea (en este ejemplo, la técnica 1). La combinación resulta muy eficaz cuando los pronósticos individuales aportan diferentes tipos de información al proceso de elaboración de pronósticos. Los pronosticadores han logrado resultados excelentes cuando atribuyen una ponderación igual a todos los pronósticos, y éste es un buen punto de partida. Sin embargo, las ponderaciones desiguales pueden producir resultados mejores en ciertas condiciones.

pronósticos combinados
Pronósticos que se producen promediando pronósticos independientes basados en diferentes métodos, en diferentes datos, o en ambas cosas.

OM Explorer y POM para Windows permiten evaluar varios modelos de pronóstico y después crear pronósticos combinados a partir de ellos. Los modelos pueden ser los que se evaluaron por separado en la figura 13.10, pero también pueden incluir pronósticos de los métodos de regresión, juicio, o empírico. Para evaluar el método de juicio, el pronosticador debe tener el dato de la demanda real de un solo periodo a la vez, de preferencia cuando los acontecimientos reales están teniendo lugar, a fin de elaborar un pronóstico para el siguiente periodo. Para estar informado, el pronosticador también debe tener conocimiento de cuál ha sido el desempeño de los otros métodos de pronóstico, en particular en el pasado reciente.

PRONÓSTICOS ENFOCADO

Otra forma de aprovechar varias técnicas es el **pronóstico enfocado,** en el cual se selecciona el mejor pronóstico entre un grupo de pronósticos generados por medio de técnicas individuales. En cada periodo, se usan todas las técnicas de elaboración de pronósticos para cada artículo. Los pronósticos se realizan con ayuda de una computadora, porque una compañía puede tener 100,000 SKU y se necesita un pronóstico para cada una de ellas. Usando el archivo de historial como punto de partida en cada método, la computadora genera pronósticos para el periodo actual. Los pronósticos se comparan con la demanda real, y el método que produce el pronóstico con el error más bajo de todos se utiliza para elaborar el pronóstico del periodo siguiente. El método que se usa para cada artículo puede variar de vez en cuando.

pronóstico enfocado
Método de pronóstico en el que se selecciona el mejor pronóstico entre un grupo de pronósticos generados por medio de técnicas individuales.

> RECAPITULACIÓN: EL PRONÓSTICO COMO PROCESO <

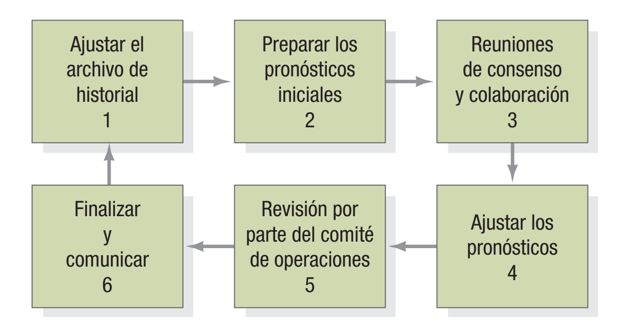
UN PROCESO DE PRONÓSTICO TÍPICO

Muchos *datos* del proceso de pronóstico son informativos, comenzando con el *archivo de historial* sobre la demanda pasada. El archivo de historial se mantiene al día con las demandas reales. Se hacen notas aclaratorias y ajustes en la base de datos para explicar el comportamiento de la demanda que se aparta de lo común, como el impacto de las promociones especiales y liquidaciones. A menudo, la base de datos se divide en dos partes: datos *básicos* y datos *no básicos*. La segunda categoría refleja la demanda irregular. Los pronósticos finales que se elaboraron al final del ciclo anterior se introducen en el archivo de historial para dar seguimiento a los errores de pronóstico. Otras fuentes de información provienen de las estimaciones de los vendedores, las licitaciones abiertas sobre nuevos pedidos, los pedidos registrados, los estudios de investigación de mercado, el comportamiento de los competidores, la perspectiva económica, los lanzamientos de nuevos productos, los precios y las promociones. Si se usa el CPFR, se compartirá una cantidad considerable de información con clientes y proveedores. En el caso de los nuevos productos, se

fabrica una base de datos históricos a partir de la experiencia de la empresa con productos anteriores y los juicios del personal.

Los *resultados* del proceso son pronósticos para varios periodos futuros. Típicamente, son pronósticos mensuales que se proyectan a partir de seis meses hasta dos años. La mayoría de los paquetes de software tienen la capacidad de "integrar" o "agregar" pronósticos de cada *stock-keeping unit* (SKU) y transformarlos en pronósticos para toda una familia de productos. Los pronósticos también pueden "separarse" o "desagregarse" en partes más pequeñas. En una estrategia de fabricación para mantener en inventario, los pronósticos propenden a ser muy detallados y se elaboran para cada producto en específico. En una estrategia de fabricación por pedido, los pronósticos tienden a ser para grupos de productos. Asimismo, si los tiempos de espera para comprar materias primas y fabricar un producto o proporcionar un servicio son largos, los pronósticos van más adelante en el futuro.

El propio proceso de pronóstico, que típicamente se realiza de un mes a otro, consiste en pasos estructurados. A menudo, los lleva a cabo una persona que puede llamarse gerente de demanda, analista de pronósticos o planificador de la demanda o la oferta. Sin embargo, muchas otras personas intervienen por lo general antes de que se autorice el plan correspondiente al mes.



Paso 1. El ciclo comienza a mediados del mes, poco después de que se han terminado los pronósticos y se han comunicado a todos los interesados. Es el momento de actualizar el archivo de historial y revisar la precisión de los pronósticos. A finales de mes, se registra la demanda real y se revisa la precisión de los pronósticos.

Paso 2. Se preparan los pronósticos iniciales usando algún paquete de software de pronóstico y basándose en juicios. Se ajustan los parámetros del software para encontrar los modelos que se adaptan bien a la demanda pasada y que, además, reflejan el juicio del gerente de demanda sobre acontecimientos fuera de lo común e información acerca de las ventas futuras obtenida de varias fuentes y de las unidades de negocios.

Paso 3. Se celebran reuniones de consenso con las partes interesadas, como marketing, ventas, planificadores de la cadena de suministro y finanzas. Se facilita la aportación de datos por parte del personal de las unidades de negocios y los vendedores que salen al campo. Se usa Internet para obtener información colaborativa de clientes y proveedores clave. La meta es llegar a pronósticos elaborados por consenso de todos los actores importantes.

Paso 4. Se revisan los pronósticos aplicando juicios, tomando en consideración los aportes de las reuniones de consenso y fuentes colaborativas.

Paso 5. Se presentan los pronósticos ante el comité de operaciones para revisión y para definir un conjunto final de pronósticos. Es importante tener un conjunto de pronósticos sobre los cuales todos estén de acuerdo y se muestren dispuestos a trabajar para apoyarlos.

Paso 6. Los pronósticos se finalizan con base en las decisiones del comité de operaciones y se comunican a los interesados importantes. Por lo general, los planificadores de la cadena de suministro son los usuarios más grandes.

Como ocurre con todas las actividades de trabajo, pronosticar es un proceso, y éste debe revisarse continuamente para mejorarlo. Un proceso mejor fomentará relaciones mejores entre los diferentes departamentos, como marketing, ventas y operaciones. También producirá mejores pronósticos. Este principio es el primero que aparece en la tabla 13.4 para guiar las mejoras del proceso.

PRONÓSTICOS COMO PROCESO ANIDADO

La elaboración de pronósticos no es una actividad independiente, sino que forma parte de un proceso mayor que se trata en los capítulos restantes. Después de todo, la demanda es sólo la mitad de la ecuación; la otra mitad es la oferta. Deben trazarse planes futuros para suministrar los recursos necesarios para satisfacer la demanda pronosticada. Los recursos incluyen a los trabajadores, materiales, inventarios, recursos financieros y capacidad del equipo. En el siguiente capítulo, "Planificación de ventas y operaciones" (capítulo 14), se empieza a explicar cómo se puede garantizar que los planes de demanda y oferte estén equilibrados; el tema continúa en el capítulo 15, "Planificación de recursos", y termina en el capítulo 16, "Programación".

TABLA 13.4 Algunos principios del proceso de pronóstico

- Procesos mejores producen pronósticos mejores.
- El pronóstico de la demanda se realiza prácticamente en todas las compañías, ya sea de manera formal o informal. El reto consiste en hacerlo bien, mejor que la competencia.
- Los pronósticos mejores dan por resultado mejor servicio al cliente y costos más bajos, así como relaciones mejores con proveedores y clientes.
- El pronóstico puede y debe tener sentido con base en el panorama general, la perspectiva económica, la participación de mercado, etcétera.
- La mejor manera de aumentar la precisión de los pronósticos es concentrarse en reducir el error de pronóstico.
- El sesgo es el peor tipo de error de pronóstico; es preciso esforzarse no por introducir ningún sesgo.
- Siempre que sea posible, el pronóstico debe hacerse en niveles agregados altos. Los pronósticos sólo deben hacerse en detalle cuando sea estrictamente necesario.
- Se puede ganar mucho más si la gente colabora y se comunica bien que cuando se usa la técnica o modelo de pronóstico más avanzado.

Fuente: Adaptado de Thomas F. Wallace y Robert A. Stahl, *Sales Forecasting: A New Approach,* Cincinnati, OH: T. E. Wallace & Company, 2002, p. 112.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

ECUACIONES CLAVE

1. Regresión lineal: $Y = a + bX$

2. Pronóstico empírico: Pronóstico = D_t

3. Promedio móvil simple:

$$F_{t+1} = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \cdots + D_{t-n+1}}{n}$$

4. Promedio móvil ponderado:

$$F_{t+1} = \text{Ponderación}_1(D_t) + \text{Ponderación}_2(D_{t-1}) + \text{Ponderación}_3(D_{t-2}) + \cdots + \text{Ponderación}_n(D_{t-n+1})$$

5. Suavizamiento exponencial:

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t$$
$$F_{t+1} = F_t + \alpha(D_t - F_t)$$

6. Suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia:

$$A_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$
$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$
$$F_{t+1} = A_t + T_t$$

7. Error de pronóstico:

$$E_t = D_t - F_t$$
$$\text{CFE} = \sum E_t$$
$$\bar{E} = \frac{\text{CFE}}{n}$$
$$\text{MSE} = \frac{\sum E_t^2}{n}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (E_t - \bar{E})^2}{n-1}}$$
$$\text{MAD} = \frac{\sum |E_t|}{n}$$
$$\text{MAPE} = \frac{(\sum |E_t| / D_t)(100\%)}{n}$$

8. Señal de rastreo: $\frac{\text{CFE}}{\text{MAD}}$ o $\frac{\text{CFE}}{\text{MAD}_t}$

9. Error suavizado exponencialmente:

$$\text{MAD}_t = \alpha |E_t| + (1 - \alpha)\text{MAD}_{t-1}$$

TÉRMINOS CLAVE

agregación 524
análisis de series de tiempo 525
conjunto de reserva 546
desviación estándar (σ) 541
desviación media absoluta (MAD) 541
error cuadrático medio (MSE) 541
error de pronóstico 533
error porcentual medio absoluto (MAPE) 542

> PROBLEMA RESUELTO 1 

Chicken Palace ofrece periódicamente comidas que incluyen cinco piezas de pollo para llevar a casa, a precios especiales. Sea *Y* el número de comidas vendidas y *X* el precio. Con base en las observaciones históricas y los cálculos que se presentan en la siguiente tabla, determine la ecuación de regresión, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación. ¿Cuántas comidas piensa Chicken Palace que logrará vender a $3.00 cada una?

Observación	Precio (*X*)	Comidas vendidas (*Y*)
1	$ 2.70	760
2	$ 3.50	510
3	$ 2.00	980
4	$ 4.20	250
5	$ 3.10	320
6	$ 4.05	480
Total	$19.55	3,300
Promedio	$ 3.258	550

SOLUCIÓN

Se utilizará la computadora para calcular los mejores valores de *a*, *b*, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación.

$$a = 1{,}454.60$$
$$b = -277.63$$
$$r = -0.84$$
$$r^2 = 0.71$$

La línea de regresión es:

$$Y = a + bX = 1{,}454.60 - 277.63$$

El coeficiente de correlación ($r = -0.84$) muestra una correlación negativa entre las variables. El coeficiente de determinación ($r_2 = 0.71$) es relativamente pequeño, lo que indica que otras variables (además del precio) afectan perceptiblemente las ventas.

Si el gerente considera satisfactoria la ecuación de regresión, las ventas estimadas al precio $3.00 por comida podrán calcularse como sigue:

$$Y = a + bX = 1{,}454.60 - 277.63(3.00)$$
$$= 621.71 \quad \text{o} \quad 622 \text{ comidas}$$

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Polish General's Pizza Parlor es un pequeño restaurante que atrae a los parroquianos aficionados al sabor de las pizzas europeas. Una de sus especialidades es la pizza Polish Prize. El gerente de la empresa tiene que pronosticar la demanda semanal de esas pizzas especiales para saber cuántas bases de pasta será necesario pedir cada semana. En las últimas fechas, la demanda ha sido la siguiente:

Semana	Pizzas	Semana	Pizzas
2 de junio	50	23 de junio	56
9 de junio	65	30 de junio	55
16 de junio	52	7 de julio	60

a. Pronostique la demanda de pizzas para el periodo comprendido entre el 23 de junio y el 14 de julio, usando el método de promedio móvil simple con $n = 3$. Repita después el pronóstico, utilizando el método de promedio móvil ponderado con $n = 3$ y ponderaciones de 0.50, 0.30 y 0.20, aplicando 0.50 a la demanda más reciente.

b. Calcule la MAD para cada método.

SOLUCIÓN

a. El método de promedio móvil simple y el método de promedio móvil ponderado producen los siguientes resultados:

Semana actual	Pronóstico de promedio móvil simple para la semana siguiente	Pronóstico de promedio móvil ponderado para la semana siguiente
16 de junio	$\frac{52+65+50}{3}=55.7$ o 56	$[(0.5\times 52)+(0.3\times 65)+(0.2\times 50)]=55.5$ o 56
23 de junio	$\frac{56+52+65}{3}=57.7$ o 58	$[(0.5\times 56)+(0.3\times 52)+(0.2\times 65)]=56.6$ o 57
30 de junio	$\frac{55+56+52}{3}=54.3$ o 54	$[(0.5\times 55)+(0.3\times 56)+(0.2\times 52)]=54.7$ o 55
7 de julio	$\frac{60+55+56}{3}=57.0$ o 57	$[(0.5\times 60)+(0.3\times 55)+(0.2\times 56)]=57.7$ o 58

b. La desviación media absoluta se calcula como sigue:

		Promedio móvil simple		Promedio móvil ponderado	
Semana	Demanda actual	Pronóstico	Errores absolutos $\lvert E_t \rvert$	Pronóstico	Errores absolutos $\lvert E_t \rvert$
23 de junio	56	56	$\lvert 56-56 \rvert = 0$	56	$\lvert 56-56 \rvert = 0$
30 de junio	55	58	$\lvert 55-58 \rvert = 3$	57	$\lvert 55-57 \rvert = 2$
7 de julio	60	54	$\lvert 60-54 \rvert = 6$	55	$\lvert 60-55 \rvert = 5$
			$\text{MAD}=\frac{0+3+6}{3}=3$		$\text{MAD}=\frac{0+2+5}{3}=2.3$

Para este conjunto limitado de datos, el método de promedio móvil ponderado produjo una desviación media absoluta ligeramente más baja. Sin embargo, no será posible sacar conclusiones definitivas sino hasta después de haber analizado muchos más datos.

PROBLEMA RESUELTO 3

La demanda mensual de unidades manufacturadas por Acme Rocket Company ha sido la siguiente:

Mes	Unidades	Mes	Unidades
Mayo	100	Septiembre	105
Junio	80	Octubre	110
Julio	110	Noviembre	125
Agosto	115	Diciembre	120

a. Aplique el método de suavizamiento exponencial para pronosticar el número de unidades de junio a enero. El pronóstico inicial de mayo fue de 105 unidades; $\alpha = 0.2$.

b. Calcule el error porcentual absoluto que corresponde a cada uno de los meses, de junio a diciembre, y también la MAD y el MAPE del error de pronóstico al final de diciembre.

c. Calcule la señal de rastreo al final de diciembre. ¿Qué puede decir acerca del desempeño de su método de pronóstico?

SOLUCIÓN

a.

Mes actual, t	$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_t$			Pronóstico para el mes $t + 1$
Mayo	0.2(100) + 0.8(105) = 104.0	o	104	Junio
Junio	0.2(80) + 0.8(104.0) = 99.2	o	99	Julio
Julio	0.2(110) + 0.8(99.2) = 101.4	o	101	Agosto
Agosto	0.2(115) + 0.8(101.4) = 104.1	o	104	Septiembre
Septiembre	0.2(105) + 0.8(104.1) = 104.3	o	104	Octubre
Octubre	0.2(110) + 0.8(104.3) = 105.4	o	105	Noviembre
Noviembre	0.2(125) + 0.8(105.4) = 109.3	o	109	Diciembre
Diciembre	0.2(120) + 0.8(109.3) = 111.4	o	111	Enero

b.

Mes, t	Demanda real, D_t	Pronóstico, F_t	Error, $E_t = D_t - F_t$	Error absoluto, $\lvert E_t \rvert$	Error porcentual absoluto, $(\lvert E_t \rvert / D_t)(100\%)$
Junio	80	104	−24	24	30.0%
Julio	110	99	11	11	10.0
Agosto	115	101	14	14	12.2
Septiembre	105	104	1	1	0.9
Octubre	110	104	6	6	5.4
Noviembre	125	105	20	20	16.0
Diciembre	120	109	11	11	9.2
Total	765		39	87	83.7%

$$\text{MAD} = \frac{\Sigma\lvert E_t \rvert}{n} = \frac{87}{7} = 12.4 \quad \text{y} \quad \text{MAPE} = \frac{(\Sigma\lvert E_t \rvert / D_t)(100)}{n} = \frac{83.7\%}{7} = 11.96$$

c. Hasta el final de diciembre, la suma acumulada de errores de pronóstico (CFE) es 39. Usando la desviación media absoluta calculada en la parte (b), la señal de rastreo se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Señal de rastreo} = \frac{\text{CFE}}{\text{MAD}} = \frac{39}{12.4} = 3.14$$

La probabilidad de que un valor de 3.14 para la señal de rastreo pudiera generarse en forma totalmente fortuita es muy pequeña. En consecuencia, es preciso revisar el enfoque. La larga serie de pronósticos más bajos que la demanda real indica la utilización de un método de tendencia.

> PROBLEMA RESUELTO 4 <

La demanda de Krispee Crunchies, uno de los cereales favoritos para el desayuno entre las personas nacidas en la década de 1940, está en una etapa de decadencia. La compañía desea vigilar cuidadosamente la demanda que tiene este producto ahora que se aproxima al final de su ciclo de vida. Se ha utilizado el método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia con $\alpha = 0.1$ y $\beta = 0.2$. Al final de diciembre, la estimación actualizada del número promedio de cajas vendidas cada mes, A_t, fue de 900,000 y la tendencia actualizada, T_t, fue de –50,000 por mes. En la tabla siguiente se presenta el historial de las ventas reales de enero, febrero y marzo. Genere los pronósticos para febrero, marzo y abril.

Mes	Ventas
Enero	890,000
Febrero	800,000
Marzo	825,000

SOLUCIÓN

Se conoce la condición inicial a finales de diciembre y la demanda real de enero, febrero y marzo. Ahora se debe actualizar el método de pronóstico y preparar un pronóstico para abril. Las ecuaciones que se usarán con el método de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia son las siguientes:

$$A_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(A_{t-1} + T_{t-1})$$
$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$
$$F_{t+1} = A_t + T_t$$

Para enero tenemos:

$$A_{ene} = 0.1(890{,}000) + 0.9(900{,}000 - 50{,}000)$$
$$= 854{,}000 \text{ cajas}$$
$$T_{ene} = 0.2(854{,}000 - 900{,}000) + 0.8(-50{,}000)$$
$$= -49{,}200 \text{ cajas}$$
$$F_{feb} = A_{ene} + T_{ene} = 854{,}000 - 49{,}200 = 804{,}800 \text{ cajas}$$

Para febrero tenemos:

$$A_{feb} = 0.1(800{,}000) + 0.9(854{,}000 - 49{,}200)$$
$$= 804{,}320 \text{ cajas}$$
$$T_{feb} = 0.2(804{,}320 - 854{,}000) + 0.8(-49{,}200)$$
$$= -49{,}296 \text{ cajas}$$
$$F_{mar} = A_{feb} + T_{feb} = 804{,}320 - 49{,}296 = 755{,}024 \text{ cajas}$$

Para marzo tenemos:

$$A_{mar} = 0.1(825{,}000) + 0.9(804{,}320 - 49{,}296)$$
$$= 762{,}021.6 \quad \text{o} \quad 762{,}022 \text{ cajas}$$
$$T_{mar} = 0.2(762{,}022 - 804{,}320) + 0.8(-49{,}296)$$
$$= -47{,}896.4 \quad \text{o} \quad -47{,}897 \text{ cajas}$$
$$F_{abr} = A_{mar} + T_{mar} = 762{,}022 - 47{,}897 = 714{,}125 \text{ cajas}$$

> PROBLEMA RESUELTO 5 <

En el volumen diario de la correspondencia que se recibe cada semana en la Oficina de Correos de Northville se registra un patrón estacional. Los siguientes datos corresponden a dos semanas representativas y están expresados en miles de piezas postales:

Día	Semana 1	Semana 2
Domingo	5	8
Lunes	20	15
Martes	30	32
Miércoles	35	30
Jueves	49	45
Viernes	70	70
Sábado	15	10
Total	224	210

a. Calcule un factor estacional para cada día de la semana.

b. Si el administrador de correos estima que tendrá que clasificar 230,000 piezas de correo durante la semana próxima, pronostique cuál será el volumen correspondiente a cada día de la semana.

SOLUCIÓN

a. Calcule el volumen promedio de la correspondencia diaria para cada semana. En seguida, por cada día de la semana, divida el volumen de correo entre el promedio de la semana para obtener el factor estacional. Finalmente, por cada día, sume los dos factores estacionales y divida entre 2 para obtener el factor estacional promedio que deberá utilizar en el pronóstico [véase la parte (b)].

	Semana 1		Semana 2		
Día	Volumen de correo	Factor estacional (1)	Volumen de correo	Factor estacional (2)	Factor estacional promedio [(1) + (2)]/2
Domingo	5	5/32 = 0.15625	8	8/30 = 0.26667	0.21146
Lunes	20	20/32 = 0.62500	15	15/30 = 0.50000	0.56250
Martes	30	30/32 = 0.93750	32	32/30 = 1.06667	1.00209
Miércoles	35	35/32 = 1.09375	30	30/30 = 1.00000	1.04688
Jueves	49	49/32 = 1.53125	45	45/30 = 1.50000	1.51563
Viernes	70	70/32 = 2.18750	70	70/30 = 2.33333	2.26042
Sábado	15	15/32 = 0.46875	10	10/30 = 0.33333	0.40104
Total	224		210		
Promedio	224/7 = 32		210/7 = 30		

b. El volumen promedio diario de correspondencia que se espera es de 230,000/7 = 32,857 piezas de correo. A partir de los factores estacionales promedio calculados en la parte (a), se obtienen los siguientes pronósticos:

Día	Cálculo	Pronóstico
Domingo	0.21146(32,857) =	6,948
Lunes	0.56250(32,857) =	18,482
Martes	1.00209(32,857) =	32,926
Miércoles	1.04688(32,857) =	34,397
Jueves	1.51563(32,857) =	49,799
Viernes	2.26042(32,857) =	74,271
Sábado	0.40104(32,857) =	13,177
	Total	230,000

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. La figura 13.11 muestra varias medidas de la visibilidad del aire de la ciudad de Denver en verano. La norma de visibilidad aceptable es de 100, y las lecturas por arriba de 100 indican la presencia de aire puro y buena visibilidad, en tanto que las lecturas por debajo de 100 indican inversiones térmicas causadas por incendios forestales, erupciones volcánicas o colisiones con cometas.

a. ¿Existe alguna tendencia evidente en estos datos? ¿Qué técnicas de series de tiempo podrían ser apropiadas para estimar el promedio de estos datos?

b. Los servicios de un centro médico localizado en Denver y especializado en el tratamiento de asma y enfermedades respiratorias tienen mucha demanda cuando la calidad del aire es deficiente. Si usted estuviera a cargo de preparar un pronóstico de visibilidad del aire a corto plazo (por ejemplo, para los próximos 3 días), ¿qué factor(es) causal(es) analizaría? En otras palabras, ¿cuáles son los factores externos que pueden afectar en forma significativa la visibilidad en el *corto plazo*?

c. El turismo, un factor importante en la economía de Denver, resulta afectado por la imagen de la ciudad. La calidad del aire, medida en función de la visibilidad, afecta la imagen de la ciudad. Si usted fuera responsable del fomento del turismo, ¿qué factor(es) causal(es) analizaría para pronosticar la visibilidad a *mediano plazo* (por ejemplo, para los dos veranos próximos)?

d. El gobierno federal amenaza con retener varios cientos de millones de dólares en fondos del Departamento de Transporte, a menos que Denver cumpla con las normas de visibilidad en un plazo de ocho años. ¿Qué haría usted para elaborar un pronóstico de juicio a *largo plazo* de las tecnologías que estarán disponibles para mejorar la visibilidad en los próximos diez años?

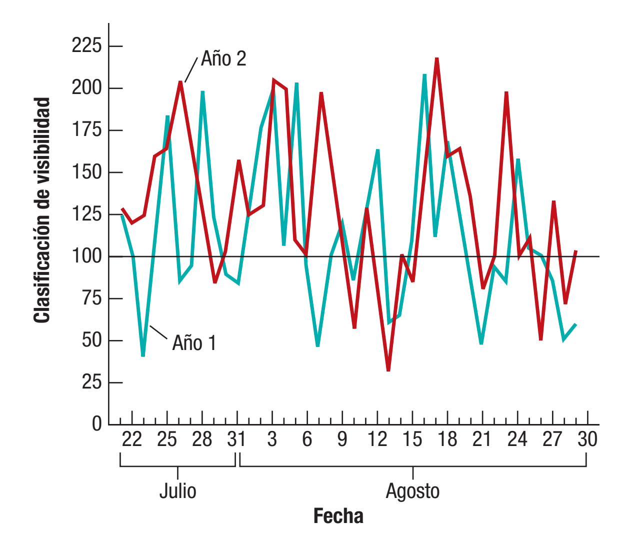


FIGURA 13.11

2. Kay y Michael Passe dirigen *What's Happening?*, un periódico bisemanal que publica noticias locales. *What's Happening?* tiene pocos suscriptores y se vende generalmente en las cajas registradoras de las tiendas. Gran parte de sus ingresos proviene de anuncios de ventas de garaje y ofertas especiales de supermercados. Con el propósito de reducir los costos asociados con la impresión de muchos ejemplares o la entrega de periódicos en el lugar equivocado, Michael estableció un sistema computarizado para la recolección de datos sobre ventas. Los escáneres instalados en los mostradores de ventas registran con precisión los datos de las ventas en cada lugar. Desde que se implementó el sistema, los volúmenes totales de ventas han disminuido constantemente. La venta de espacio de publicidad y el mantenimiento de espacio de anaqueles en los supermercados se han vuelto más difíciles.

La reducción de los ingresos hace que el control de costos sea aún más importante. Para cada número de su periódico, Michael elabora un pronóstico cuidadoso basado en los datos sobre ventas que se recopilan en cada establecimiento. A continuación, ordena que se impriman y distribuyan los periódicos en las cantidades señaladas en el pronóstico. El pronóstico de Michael refleja una tendencia descendente, la cual *está* presente en los datos de ventas. Ahora sólo quedan unos cuantos periódicos sobrantes en un reducido número de establecimientos. Sin embargo, aunque los pronósticos de ventas ofrecen una previsión precisa de las ventas reales en la mayoría de los casos, *What's Happening?* ha empezado a descender la cuesta del olvido. Kay sospecha que Michael está cometiendo algún error en la elaboración del pronóstico, pero no ha podido encontrar errores matemáticos. Explíquele usted qué está pasando.

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

Para resolver el problema 7(vi) y los problemas 12 a 14 se requiere una cantidad considerable de cálculos. Se recomienda el uso de software de regresión o una hoja de cálculo electrónica.

1. La dueña de una tienda de computadoras alquila impresoras a algunos de sus mejores clientes. Ahora le interesa elaborar un pronóstico de sus operaciones de alquiler para poder comprar la cantidad correcta de suministros para sus impresoras. A continuación se presentan los datos correspondientes a las 10 últimas semanas.

Semana	Alquileres	Semana	Alquileres
1	23	6	28
2	24	7	32
3	32	8	35
4	26	9	26
5	31	10	24

a. Prepare un pronóstico para las semanas 6 a 10, usando un promedio móvil de cinco semanas. ¿Cuál será el pronóstico para la semana 11?
b. Calcule la desviación media absoluta al final de la semana 10.

2. Las ventas realizadas en los últimos doce meses por Dalworth Company aparecen a continuación:

Mes	Ventas (millones de dólares)	Mes	Ventas (millones de dólares)
Enero	20	Julio	53
Febrero	24	Agosto	62
Marzo	27	Septiembre	54
Abril	31	Octubre	36
Mayo	37	Noviembre	32
Junio	47	Diciembre	29

a. Utilice un promedio móvil de tres meses y pronostique las ventas para los meses comprendidos entre abril y diciembre.
b. Aplique un promedio móvil de cuatro meses y pronostique las ventas para los meses comprendidos entre mayo y diciembre.
c. Compare el desempeño de los dos métodos, utilizando la desviación media absoluta como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?
d. Compare el desempeño de los dos métodos, usando el error porcentual medio absoluto como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?
e. Compare el desempeño de los dos métodos, utilizando el error cuadrático medio como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?

3. Karl's Copiers vende y repara fotocopiadoras. El gerente necesita pronósticos semanales de las solicitudes de servicio para poder programar las actividades del personal de servicio. El pronóstico de la semana del 3 de julio fue de 24 solicitudes de servicio. El gerente usa el suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.20$. Pronostique el número de solicitudes de servicio correspondientes a la semana del 7 de agosto, suponiendo que ésta sea la semana próxima.

Semana	Número real de solicitudes de servicio
3 de julio	24
10 de julio	32
17 de julio	36
24 de julio	23
31 de julio	25

4. Considere los datos sobre las ventas de Dalworth Company, presentados en el problema 2. Para las partes (c) a (e), use sólo los datos de abril a diciembre.
a. Utilice un promedio móvil ponderado de tres meses para pronosticar las ventas de los meses transcurridos entre abril y diciembre. Use ponderaciones de (3/6), (2/6) y (1/6), asignando una ponderación mayor a los datos más recientes.
b. Use el suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.6$ para pronosticar las ventas de los meses comprendidos entre abril y diciembre. Suponga que el pronóstico inicial para enero fue de $22 millones.
c. Compare el desempeño de los dos métodos, aplicando la desviación media absoluta como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?
d. Compare el desempeño de los dos métodos, usando el error porcentual medio absoluto como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?
e. Compare el desempeño de los dos métodos, usando el error cuadrático medio como criterio de desempeño. ¿Qué método recomendaría?

5. Últimamente, una tienda de artículos varios ha empezado a vender en su territorio una nueva marca de refrescos. A la gerencia le interesa estimar el volumen de las ventas futuras para determinar si debe seguir vendiendo la nueva marca o si será preferible sustituirla por otra. A finales de abril, el volumen promedio de ventas mensuales del nuevo refresco era de 700 latas y la tendencia indicaba +50 latas por mes. Las cifras reales del volumen de ventas de mayo, junio y julio son de 760, 800 y 820, respectivamente. Utilice el suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, con $\alpha = 0.2$ y $\beta = 0.1$, para pronosticar el consumo en junio, julio y agosto.

6. El Community Federal Bank de Dothan, Alabama, instaló recientemente un nuevo cajero automático para ofrecer servicios bancarios convencionales y atender solicitudes de prés-

tamo y transacciones de inversión. El manejo de la nueva máquina es un poco complicado, por lo cual a la gerencia le interesa llevar un registro de su utilización en el pasado y proyectar el uso en el futuro. Si el uso proyectado es suficientemente amplio, tal vez sea necesario adquirir más máquinas.

Al final de abril, el uso promedio mensual era de 600 clientes y la tendencia señalaba +60 clientes por mes. Las cifras de uso real correspondientes a mayo, junio y julio son 680, 710 y 790, respectivamente. Use el suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia, con $\alpha = 0.3$ y $\beta = 0.2$, para elaborar un pronóstico de la utilización en junio, julio y agosto.

7. El número de intervenciones quirúrgicas de corazón que se realizan en el Hospital General de Heartville ha aumentado sin cesar en los últimos años. La administración del hospital está buscando el mejor método para pronosticar la demanda de esas operaciones en el año 6. A continuación se presentan los datos de los últimos cinco años. Hace seis años, el pronóstico para el año 1 era de 41 operaciones, y la tendencia estimada fue de un incremento de 2 por año.

Año	Demanda
1	45
2	50
3	52
4	56
5	58

La administración del hospital está considerando los siguientes métodos de pronóstico.

(i) Suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.6$
(ii) Suavizamiento exponencial con $\alpha = 0.9$
(iii) Suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia con $\alpha = 0.6$ y $\beta = 0.1$
(iv) Promedio móvil de tres años.
(v) Promedio móvil ponderado de tres años, usando ponderaciones de (3/6), (2/6) y (1/6), y asignando una mayor ponderación a los datos más recientes.
(vi) Modelo de regresión, $Y = 42.6 + 3.2X$, donde Y es el número de cirugías y X representa el índice del año (por ejemplo, $X = 1$ para el año 1, $X = 2$ para el año 2, etcétera).

a. Si la MAD (desviación media absoluta) es el criterio de desempeño seleccionado por la administración, ¿qué método de pronóstico deberá elegir?

b. Si el MSE (error cuadrático medio) es el criterio de desempeño seleccionado por la administración, ¿qué método de pronóstico deberá elegir?

c. Si el MAPE (error porcentual medio absoluto) es el criterio de desempeño seleccionado por la administración, ¿qué método de pronóstico deberá elegir?

8. Los siguientes datos corresponden a las ventas de calculadoras, expresadas en unidades, en una tienda de artículos electrónicos en las últimas cinco semanas.

Semana	Ventas
1	46
2	49
3	43
4	50
5	53

Use el suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia con $\alpha = 0.2$ y $\beta = 0.2$, para pronosticar las ventas correspondientes a las semanas 3 a 6. Suponga que el promedio de la serie de tiempo fue de 45 unidades y que la tendencia promedio fue de +2 unidades por semana inmediatamente antes de la semana 1.

9. Forrest y Dan fabrican cajas de chocolates, cuya demanda es incierta. Forrest comenta: "Así es la vida". Por otro lado, Dan está convencido de que existen ciertos patrones de demanda que podrían ser útiles para planear las compras de azúcar, chocolate y camarones. Forrest insiste en incluir en algunas cajas, como regalo sorpresa, un camarón cubierto de chocolate, para que el cliente "nunca sepa lo que va a encontrar". A continuación se presenta la demanda trimestral registrada en los últimos tres años (expresada en cajas de chocolate):

Trimestre	Año 1	Año 2	Año 3
1	3,000	3,300	3,502
2	1,700	2,100	2,448
3	900	1,500	1,768
4	4,400	5,100	5,882
Total	10,000	12,000	13,600

a. Use la intuición y el buen juicio para estimar la demanda trimestral correspondiente al cuarto año.

b. Si las ventas esperadas de los chocolates son de 14,800 cajas en el año 4, utilice el método estacional multiplicativo y prepare un pronóstico para cada trimestre del año. ¿Alguno de los pronósticos trimestrales es diferente de lo que usted supuso que obtendría en la parte (a)?

10. La gerente de Snyder's Garden Center debe elaborar sus planes anuales de compras de rastrillos, guantes y otros artículos de jardinería. Uno de los artículos que tiene en inventario es Fast-Grow, un fertilizante líquido. Las ventas de dicho artículo son estacionales, con puntos máximos en los meses de primavera, verano y otoño. A continuación se presenta la demanda trimestral (en cajas) registrada durante los dos últimos años:

Trimestre	Año 1	Año 2
1	40	60
2	350	440
3	290	320
4	210	280
Total	890	1,100

Si las ventas esperadas de Fast-Grow son de 1,150 cajas para el año 3, use el método estacional multiplicativo y prepare un pronóstico para cada trimestre del año.

11. El gerente de una compañía de luz, localizada en la franja estrecha del territorio del estado de Texas, necesita elaborar pronósticos trimestrales de las cargas de energía eléctrica que deberá suministrar el año entrante. Las cargas de energía son estacionales, y los datos sobre las cargas trimestrales,

en megawatts (MW), en los últimos cuatro años, son los siguientes:

Trimestre	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
1	103.5	94.7	118.6	109.3
2	126.1	116.0	141.2	131.6
3	144.5	137.1	159.0	149.5
4	166.1	152.5	178.2	169.0

El gerente ha estimado la demanda total para el año próximo en 600 MW. Use el método estacional multiplicativo y elabore un pronóstico para cada trimestre.

12. La demanda de cambios de aceite en Garcia's Garage ha sido la siguiente:

Mes	Número de cambios de aceite
Enero	41
Febrero	46
Marzoh	57
Abril	52
Mayo	59
Junio	51
Julio	60
Agosto	62

a. Aplique el análisis de regresión lineal simple y elabore un modelo de pronóstico para la demanda mensual. En esta aplicación, la variable dependiente, Y, corresponde a la demanda mensual, y la variable independiente, X, representa el mes. Para enero, sea $X = 1$, para febrero sea $X = 2$, y así sucesivamente.

b. Utilice el modelo para pronosticar la demanda en septiembre, octubre y noviembre. En este caso, $X = 9$, 10 y 11, respectivamente.

13. En una fábrica procesadora de hidrocarburos, el control de procesos requiere el análisis periódico de muestras para un parámetro determinado de la calidad del proceso. El procedimiento analítico que se sigue actualmente es costoso y consume mucho tiempo. Se ha propuesto un procedimiento alternativo más rápido y económico. Sin embargo, las cifras obtenidas con el procedimiento alternativo para el parámetro de calidad son un tanto diferentes de las obtenidas con el procedimiento actual, no a causa de errores intrínsecos, sino por cambios en el carácter del análisis químico.

La gerencia considera que si es posible usar las cifras obtenidas con el nuevo procedimiento para hacer un pronóstico fiable de las cifras correspondientes del procedimiento actual, la adopción del nuevo procedimiento sería sensata y rentable. Los siguientes datos referentes al parámetro de calidad se obtuvieron analizando muestras con los dos procedimientos:

Actual (Y)	Propuesto (X)	Actual (Y)	Propuesto (X)
3.0	3.1	3.1	3.1
3.1	3.9	2.7	2.9
3.0	3.4	3.3	3.6
3.6	4.0	3.2	4.1
3.8	3.6	2.1	2.6
2.7	3.6	3.0	3.1
2.7	3.6	2.6	2.8

a. Use la regresión lineal para encontrar una relación que permita pronosticar Y, que es el parámetro de calidad del procedimiento actual, utilizando los valores del procedimiento propuesto, X.

b. ¿Existe una relación fuerte entre Y y X? Explique.

14. Ohio Swiss Milk Products fabrica y distribuye helados en Ohio, Kentucky y West Virginia. La compañía desea expandir sus operaciones, abriendo otra planta en el norte de Ohio. El tamaño de la nueva planta se calculará en función de la demanda esperada de helado en el área atendida por dicha planta. Actualmente se está realizando un estudio de mercado para determinar cuál será esa demanda.

Ohio Swiss desea estimar la relación entre el costo de fabricación por galón y el número de galones vendidos en un año para determinar la demanda de helado y por consiguiente, el tamaño de la nueva planta. Se han recopilado los siguientes datos:

Planta	Costo por millar de galones (Y)	Miles de galones vendidos (X)
1	$ 1,015	416.9
2	973	472.5
3	1,046	250.0
4	1,006	372.1
5	1,058	238.1
6	1,068	258.6
7	967	597.0
8	997	414.0
9	1,044	263.2
10	1,008	372.0
Total	$10,182	3,654.4

a. Desarrolle una ecuación de regresión para pronosticar el costo por galón, en función del número de galones producidos.

b. Calcule el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación. Comente sobre su ecuación de regresión a la luz de estas medidas.

c. Suponga que el estudio de mercado indica una demanda de 325,000 galones en el área de Bucyrus, Ohio. Estime el costo de fabricación por galón en una planta que produce 325,000 galones al año.

PROBLEMAS AVANZADOS

15. El director de una gran biblioteca pública tiene que programar las actividades de los empleados a cargo de colocar de nuevo en los estantes los libros y las publicaciones periódicas que devuelven los usuarios de la biblioteca. El número de elementos bibliográficos que salen en calidad de préstamo determinará los requisitos de mano de obra. Los siguientes datos reflejan el número de dichos elementos que han salido de la biblioteca en los tres últimos años.

Mes	Año 1	Año 2	Año 3
Enero	1,847	2,045	1,986
Febrero	2,669	2,321	2,564
Marzo	2,467	2,419	2,635
Abril	2,432	2,088	2,150
Mayo	2,464	2,667	2,201
Junio	2,378	2,122	2,663
Julio	2,217	2,206	2,055
Agosto	2,445	1,869	1,678
Septiembre	1,894	2,441	1,845
Octubre	1,922	2,291	2,065
Noviembre	2,431	2,364	2,147
Diciembre	2,274	2,189	2,451

El director necesita un método de series de tiempo para pronosticar el número de elementos que saldrán de la institución durante el próximo mes. Encuentre el mejor pronóstico posible con el método de promedio móvil simple. Defina lo que se entiende por "el mejor" y justifique su decisión.

16. Usando los datos del problema 15, encuentre la mejor solución posible con el suavizamiento exponencial. Justifique su decisión.

17. Usando los datos del problema 15, busque la mejor solución posible con el suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia. Compare el desempeño de este método con las mejores soluciones obtenidas con el método de promedio móvil y el de suavizamiento exponencial. ¿Cuál de los tres métodos elegiría usted?

18. Cannister, Inc. se especializa en la fabricación de recipientes de plástico. Los datos de las ventas mensuales de botellas de champú de 10 onzas en los últimos cinco años son los siguientes:

Año	1	2	3	4	5
Enero	742	741	896	951	1,030
Febrero	697	700	793	861	1,032
Marzo	776	774	885	938	1,126
Abril	898	932	1,055	1,109	1,285
Mayo	1,030	1,099	1,204	1,274	1,468
Junio	1,107	1,223	1,326	1,422	1,637
Julio	1,165	1,290	1,303	1,486	1,611
Agosto	1,216	1,349	1,436	1,555	1,608
Septiembre	1,208	1,341	1,473	1,604	1,528
Octubre	1,131	1,296	1,453	1,600	1,420
Noviembre	971	1,066	1,170	1,403	1,119
Diciembre	783	901	1,023	1,209	1,013

a. Use el método estacional multiplicativo para calcular los índices estacionales mensuales.

b. Desarrolle una ecuación de regresión lineal simple para pronosticar las ventas anuales. En esta regresión, la variable dependiente, Y, es la demanda registrada cada año, y la variable independiente, X, es el índice del año (es decir, $X = 1$ para el año 1, $X = 2$ para el año 2, y así sucesivamente hasta llegar a $X = 5$ para el año 5).

c. Pronostique las ventas anuales para el año 6, usando el modelo de regresión que desarrolló en la parte (b).

d. Prepare el pronóstico estacional para cada mes, utilizando los índices estacionales mensuales calculados en la parte (a).

19. Midwest Computer Company atiende a un gran número de empresas en la región de los Grandes Lagos. La compañía vende suministros y partes de repuesto, y da servicio a todas las computadoras vendidas en sus siete oficinas de venta. Como hay muchos artículos almacenados, se requiere un cuidadoso control de inventario para garantizar a los clientes un servicio eficiente. El trabajo ha aumentado recientemente y la dirección está preocupada por un posible desabasto. Se requiere un método de pronóstico que permita estimar las necesidades con varios meses de anticipación para poder comprar las cantidades adecuadas de reabastecimiento. Un ejemplo del crecimiento de las ventas observado en los últimos 50 meses es el crecimiento de la demanda del artículo EP-37, un cartucho para impresora láser, como muestra la tabla 13.5.

TABLA 13.5 Datos sobre ventas del artículo EP-37 y alquileres

Mes	Ventas EP-37	Alquileres	Mes	Ventas EP-37	Alquileres
1	80	32	26	1,296	281
2	132	29	27	1,199	298
3	143	32	28	1,267	314
4	180	54	29	1,300	323
5	200	53	30	1,370	309
6	168	89	31	1,489	343
7	212	74	32	1,499	357
8	254	93	33	1,669	353
9	397	120	34	1,716	360
10	385	113	35	1,603	370
11	472	147	36	1,812	386
12	397	126	37	1,817	389
13	476	138	38	1,798	399
14	699	145	39	1,873	409
15	545	160	40	1,923	410
16	837	196	41	2,028	413
17	743	180	42	2,049	439
18	722	197	43	2,084	454
19	735	203	44	2,083	441
20	838	223	45	2,121	470
21	1,057	247	46	2,072	469
22	930	242	47	2,262	490
23	1,085	234	48	2,371	496
24	1,090	254	49	2,309	509
25	1,218	271	50	2,422	522

a. Desarrolle una solución de suavizamiento exponencial ajustado a la tendencia para pronosticar la demanda. Encuentre los "mejores" parámetros y justifique sus selecciones. Pronostique la demanda para los meses 51 a 53.

b. Un consultor de la gerencia de Midwest propuso que los alquileres de espacios para nuevas oficinas serían un buen indicador líder de las ventas de la compañía. Él mismo mencionó que en un estudio universitario reciente se llegó a la conclusión de que los alquileres de nuevos espacios de oficina preceden a las ventas de equipo y suministros de oficina por un periodo de tres meses. Según los resultados de ese estudio, los alquileres registrados en el mes 1 afectarían las ventas en el mes 4, los alquileres registrados en el mes 2 afectarían las ventas en el mes 5, y así sucesivamente. Use la regresión lineal y desarrolle un modelo de pronóstico para las ventas, considerando los alquileres como variable independiente. Pronostique las ventas para los meses 51 a 53.

c. ¿Cuál de los dos modelos produce mejores pronósticos? Explique su respuesta.

20. Un determinado producto alimenticio que se vende en los Supermercados P&Q tiene el patrón de demanda que muestra la tabla siguiente. Encuentre el "mejor" pronóstico posible para el mes 25 y justifique su metodología. Puede usar algunos de los datos para encontrar el mejor valor o valores de los parámetros de su método, y los demás para probar el modelo de pronóstico. La justificación que presente deberá incluir consideraciones cuantitativas y cualitativas.

Mes	Demanda	Mes	Demanda
1	33	13	37
2	37	14	43
3	31	15	56
4	39	16	41
5	54	17	36
6	38	18	39
7	42	19	41
8	40	20	58
9	41	21	42
10	54	22	45
11	43	23	41
12	39	24	38

21. Los datos del gráfico de visibilidad de la pregunta para discusión 1 se presentan en la tabla 13.6. La norma de visibilidad se ha establecido en 100. Las lecturas por debajo de 100 indican que la contaminación del aire ha reducido la visibilidad, y las lecturas por encima de 100 indican que el aire está más limpio.

a. Use varios métodos para generar un pronóstico de visibilidad para el 31 de agosto del segundo año. ¿Qué método parece producir el mejor pronóstico?

b. Use varios métodos para pronosticar el índice de visibilidad correspondiente al verano del tercer año. ¿Qué método parece producir el mejor pronóstico? Justifique su selección.

22. Tom Glass elabora pronósticos de demanda eléctrica para el Flatlands Public Power District (FPPD). El FPPD tendrá que suspender temporalmente el servicio de su planta en Comstock para realizar operaciones de mantenimiento, pero quiere hacerlo cuando se espere que la demanda sea baja. A partir del momento en que se suspenda el servicio, se requerirán dos semanas para realizar los trabajos de mantenimiento y poner la planta en marcha nuevamente. La empresa de servicio público tiene suficiente capacidad adicional de generación de energía para satisfacer una demanda de 1,550 megawatt (MW), mientras la planta de Comstock está fuera de servicio. La tabla 13.7 muestra las demandas máximas semanales (en MW), registradas en el otoño de los últimos años. ¿En qué momento del siguiente otoño será más conveniente programar las operaciones de mantenimiento en la planta de Comstock?

23. Una empresa manufacturera ha creado una prueba de aptitudes, cuyas calificaciones pueden utilizarse para pronosticar factores de capacidad de producción de los trabajadores. Los datos de las calificaciones obtenidas en las pruebas por varios trabajadores, y las calificaciones de capacidad de producción observadas después, aparecen en la siguiente tabla:

Trabajador	Calificación en la prueba	Capacidad de producción	Trabajador	Calificación en la prueba	Capacidad de producción
A	53	45	K	54	59
B	36	43	L	73	77
C	88	89	M	65	56
D	84	79	N	29	28
E	86	84	O	52	51
F	64	66	P	22	27
G	45	49	Q	76	76
H	48	48	R	32	34
I	39	43	S	51	60
J	67	76	T	37	32

a. Usando la regresión lineal, desarrolle una relación para pronosticar la capacidad de producción a partir de las calificaciones obtenidas en la prueba.

b. Si la calificación de un trabajador en la prueba fue de 80, ¿cuál sería su pronóstico de la capacidad de producción de ese trabajador?

c. Comente sobre la fuerza de la relación que existe entre las calificaciones obtenidas en la prueba y la capacidad de producción.

24. El gerente de manejo de materiales de una compañía manufacturera está tratando de pronosticar el costo de mantenimiento de la flotilla de tractores que esa empresa tiene en circulación. Él considera que el costo de mantenimiento de los tractores se eleva a medida que la máquina se hace más vieja. Ha recopilado los siguientes datos:

Antigüedad (años)	Costo anual de mantenimiento ($)	Antigüedad (años)	Costo anual de mantenimiento ($)
4.5	619	5.0	1,194
4.5	1,049	0.5	163
4.5	1,033	0.5	182
4.0	495	6.0	764
4.0	723	6.0	1,373
4.0	681	1.0	978
5.0	890	1.0	466
5.0	1,522	1.0	549
5.5	987		

a. Use la regresión lineal para desarrollar una relación que permita pronosticar el costo anual de mantenimiento, basándose en la antigüedad de un tractor.

b. Si una sección tiene 20 tractores de 3 años de antigüedad, ¿cuál es el pronóstico del costo de mantenimiento anual?

TABLA 13.6 Datos de visibilidad

Fecha	Año 1	Año 2	Fecha	Año 1	Año 2	Fecha	Año 1	Año 2
Julio 22	125	130	Ago. 5	105	200	Ago. 19	170	160
23	100	120	6	205	110	20	125	165
24	40	125	7	90	100	21	85	135
25	100	160	8	45	200	22	45	80
26	185	165	9	100	160	23	95	100
27	85	205	10	120	100	24	85	200
28	95	165	11	85	55	25	160	100
29	200	125	12	125	130	26	105	110
30	125	85	13	165	75	27	100	50
31	90	105	14	60	30	28	95	135
Ago. 1	85	160	15	65	100	29	50	70
2	135	125	16	110	85	30	60	105
3	175	130	17	210	150			
4	200	205	18	110	220			

TABLA 13.7 Demandas máximas semanales de energía eléctrica

	Agosto		Septiembre				Octubre					Noviembre	
Año	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
1	2,050	1,925	1,825	1,525	1,050	1,300	1,200	1,175	1,350	1,525	1,725	1,575	1,925
2	2,000	2,075	2,225	1,800	1,175	1,050	1,250	1,025	1,300	1,425	1,625	1,950	1,950
3	1,950	1,800	2,150	1,725	1,575	1,275	1,325	1,100	1,500	1,550	1,375	1,825	2,000
4	2,100	2,400	1,975	1,675	1,350	1,525	1,500	1,150	1,350	1,225	1,225	1,475	1,850
5	2,275	2,300	2,150	1,525	1,350	1,475	1,475	1,175	1,375	1,400	1,425	1,550	1,900

EJERCICIO DE MODELO ACTIVO

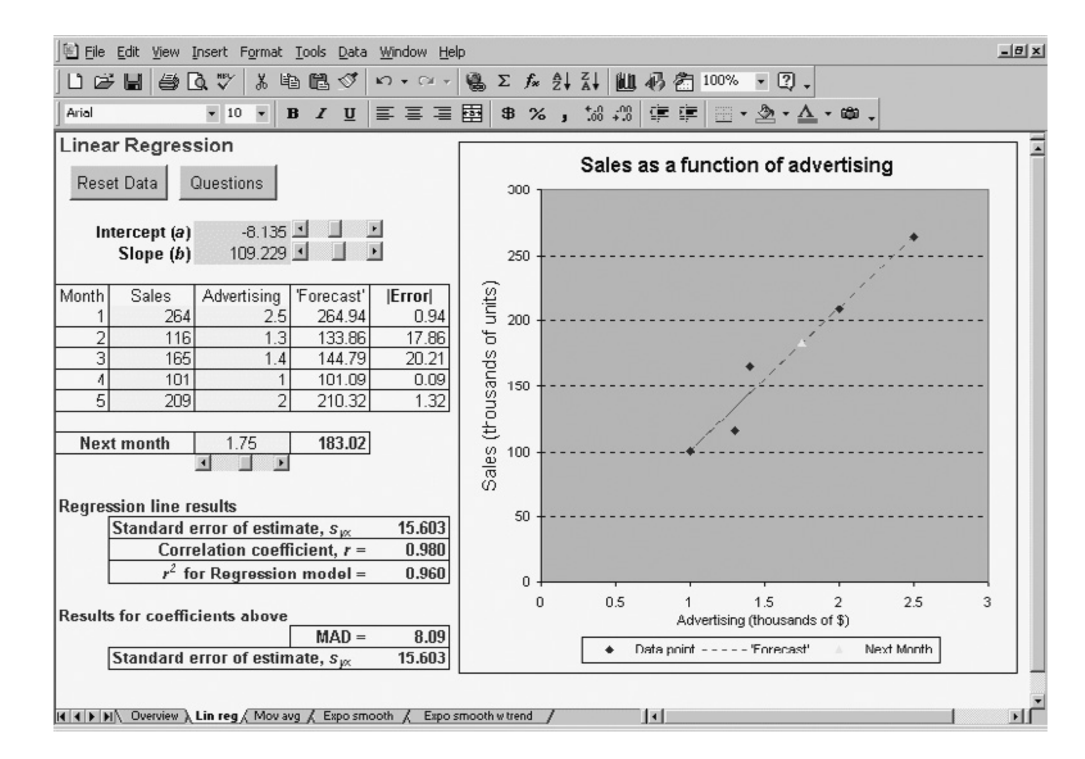
Este modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante. Le permitirá ver los efectos de la intersección (*a*) y la pendiente (*b*) de una línea de regresión lineal sobre el error estándar del estimado y sobre la MAD.

PREGUNTAS

1. ¿Cuántas unidades se venden por cada dólar gastado en publicidad de acuerdo con el modelo de regresión?
2. Use la barra de desplazamiento para bajar la intersección. ¿Qué sucede con el error estándar? ¿Qué sucede con la MAD?
3. Use la barra de desplazamiento para bajar la pendiente. ¿Qué sucede con el error estándar? ¿Qué sucede con la MAD?
4. Use las barras de desplazamiento de la pendiente y la intersección para determinar los valores que minimizan la MAD. ¿Son los mismos valores que produce la regresión?

MODELO ACTIVO 13.1

Regresión lineal usando datos del ejemplo 13.1



CASO

Yankee Fork and Hoe Company

Yankee Fork and Hoe Company es un importante productor de herramientas para jardín que fabrica desde carretillas, artesas y carretillas de mano, hasta palas, rastrillos y desplantadores. Las herramientas se venden en cuatro líneas de productos, que abarcan desde los modelos Hércules, que son las mejores herramientas en su categoría y muy resistentes para trabajo pesado, hasta los productos Garden Helper, que son herramientas económicas para el usuario ocasional. El mercado de herramientas para jardín es sumamente competitivo por la sencillez del diseño de esos productos y por el gran número de fabricantes competidores. Además, cada vez más personas utilizan herramientas motorizadas, como cortadores de orillas para prados, podadoras de setos y recogedores de hojas sueltas y paja, razón por la que la demanda de esas mismas herramientas en su versión manual ha disminuido. Todos estos factores obligan a Yankee a mantener precios bajos, conservando la alta calidad y la puntualidad en la entrega de mercancías.

Las herramientas para jardín representan una industria madura. A menos que se desarrollen nuevos productos manuales o se presente un repentino repunte de la jardinería doméstica, las perspectivas de que haya grandes incrementos en las ventas no son muy buenas. Hay una incesante batalla por mantenerse al frente de la competencia. Nadie conoce esta situación mejor que Alan Roberts, presidente de Yankee.

Los tres tipos de herramientas que se venden hoy son, en términos generales, los mismos de hace 30 años. La única forma de generar más ventas y no perder a los viejos clientes es brindar un servicio superior y ofrecer un producto que tenga un alto valor para el cliente. Este enfoque implica mayores presiones para el sistema de fabricación, el cual ha tenido dificultades a últimas fechas. Recientemente, Roberts ha recibido llamadas de viejos clientes, como Sears y Tru-Value Hardware Stores, que se quejan de impuntualidad en la entrega de los productos. Estos clientes realizan sus propias promociones publicitarias de herramientas para jardín y necesitan puntualidad en la entrega.

Roberts sabe que la pérdida de ciertos clientes, como Sears y Tru-Value, sería desastrosa. Por eso ha decidido pedir a la consultora Sharon Place que examine el asunto y le presente un informe dentro de una semana. Roberts indica a la consultora que centre su atención en el rastrillo de arco como un caso representativo, ya que ese producto se vende en altos volúmenes y recientemente ha sido una importante fuente de quejas de los clientes.

Planificación de la producción del rastrillo de arco

Un rastrillo de arco consiste en un cabezal provisto de 12 dientes colocados a intervalos de una pulgada, un mango de madera maciza, un arco que une el cabezal al mango y un casquillo de metal que refuerza el área donde el arco se inserta en el mango. El arco es una tira de metal soldada a los extremos del cabezal del rastrillo que se dobla en su parte central, formando una lengüeta plana que se inserta en el mango. El rastrillo tiene una longitud de 64 pulgadas aproximadamente.

Place decide averiguar cómo ha planeado Yankee la producción de los rastrillos de arco. Para eso, acude directamente con Phil Stanton, que le ofrece la siguiente explicación:

> En este lugar, la planificación es informal. Para comenzar, el departamento de marketing determina el pronóstico de los rastrillos de arco, por mes, para el año próximo. A continuación, me pasan sus cálculos. Francamente, esos pronósticos suelen estar inflados; eso refleja seguramente el gran ego de sus autores. Debo tener mucho cuidado porque celebramos contratos a largo plazo para la compra de acero, y tener inactivo ese material es costoso. Por eso acostumbro reducir los pronósticos en 10% aproximadamente. Uso los pronósticos modificados para generar un programa mensual de ensamblaje definitivo, que indica cuánto deberé recibir de las áreas de forja de metal y torneado de madera. El sistema funciona bien si los pronósticos son acertados, pero cuando el departamento de marketing me informa que se ha retrasado en la atención de los pedidos de clientes, como sucede a menudo al final del año, los programas se vuelven un caos. El proceso de forja de metales es el más afectado. Por ejemplo, las prensas que se utilizan para troquelar los cabezales de los rastrillos a partir de trozos de acero no pueden manejar más que 7,000 cabezales diarios, y la máquina que fabrica los arcos produce solamente 5,000 unidades al día. Estas dos operaciones también intervienen en la fabricación de muchos otros productos.

Puesto que el departamento de marketing aporta información vital a Stanton, Place decide hablar con el gerente de marketing, Ron Adams. Este último le explica cómo elabora los pronósticos para la producción del rastrillo de arco.

> Las cosas no cambian mucho de un año a otro. Claro que a veces hacemos promociones de ventas de algún tipo, pero tratamos de avisarle a Phil con suficiente anticipación con respecto a la demanda; por lo general, le avisamos con un mes de anticipación. Me reúno con varios gerentes de las distintas regiones de ventas para revisar los datos de embarques del año anterior y discutir las promociones previstas y los cambios en la economía, así como las faltantes que tuvimos el año anterior. Basándome en esas reuniones, hago un pronóstico mensual para el año siguiente. Aunque dedicamos mucho tiempo a preparar ese pronóstico, parece que nunca nos ayuda a evitar problemas con los clientes.

El problema

Place reflexiona sobre los comentarios de Stanton y Adams. Ella entiende la preocupación de Stanton por los costos y por mantener sus inventarios bajos, pero también entiende que a Adams le interesa tener suficientes rastrillos disponibles para enviar sus embarques puntualmente. Además, los dos están un poco preocupados por la capacidad. Sin embargo, antes de enviar su informe final a Roberts, Place decide revisar cuál fue la demanda real del rastrillo de arco entre los clientes, en los últimos cuatro años (véase la tabla 13.8).

PREGUNTAS

1. Comente sobre el sistema de pronóstico que usan en Yankee. Sugiera los cambios o mejoras que, a su juicio, estarían justificados.
2. Elabore su propio pronóstico de la demanda de rastrillos de arco para cada mes del año próximo (año 5). Justifique su pronóstico y el método que haya empleado.

TABLA 13.8 Historial de demanda del rastrillo de arco durante cuatro años

	Demanda			
Mes	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**
1	55,220	39,875	32,180	62,377
2	57,350	64,128	38,600	66,501
3	15,445	47,653	25,020	31,404
4	27,776	43,050	51,300	36,504
5	21,408	39,359	31,790	16,888
6	17,118	10,317	32,100	18,909
7	18,028	45,194	59,832	35,500
8	19,883	46,530	30,740	51,250
9	15,796	22,105	47,800	34,443
10	53,665	41,350	73,890	68,088
11	83,269	46,024	60,202	68,175
12	72,991	41,856	55,200	61,100

Nota: Las cifras de demanda que aparecen en la tabla representan el número de unidades prometidas para entrega cada mes. Las cantidades que realmente se entregaron fueron diferentes a causa de los problemas de capacidad o la escasez de materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armstrong, J. S., *Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1995.

Armstrong, J. Scott y F. Collopy, "Integration of Statistical Methods and Judgment for Time Series Forecasting: Principles from Empirical Research", en G. Wright y P. Goodwin (eds.), *Forecasting with Judgement*, Nueva York, John Wiley and Sons, 1998.

Blattberg, R. C. y S. J. Hoch, "Database Models and Managerial Intuition: 50% Model + 50% Manager", *Management Science*, volumen 36, 1990, pp. 887–899.

Bowerman, Bruce L. y Richard T. O'Connell, *Forecasting and Time Series: An Applied Approach*, 3a. edición, Belmont, CA, Duxbury Press, 1993.

Bowman, Robert J., "Access to Data in Real Time: Seeing Isn't Everything", *Global Logistics and Supply-Chain Strategies*, mayo de 2002.

Chambers, John C., Satinder K. Mullick y Donald D. Smith, "How to Choose the Right Forecasting Technique", *Harvard Business Review*, julio-agosto de 1971, pp. 45–74.

"Clearing the Cobwebs from the Stockroom", *Business Week*, 21 de octubre de 1996, p. 140.

Clemen, R. T., "Combining Forecasts: A Review and Annotated Bibliography", *International Journal of Forecasting*, volumen 5, 1989, pp. 559–583.

Hudson, William J., *Executive Economics: Forecasting and Planning for the Real World of Business*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1993.

Jenkins, Carolyn, "Accurate Forecasting Reduces Inventory and Increases Output at Henredon", *APIC—The Performance Advantage*, septiembre de 1992, pp. 37–39.

Kakouros, Steve, Dorothea Kuettner y Brian Cargille, "Measure, Then Manage", *APICS—The Performance Advantage*, octubre de 2002, pp. 25–29.

Kimes, Sheryl E. y James A. Fitzsimmons, "Selecting Profitable Hotel Sites at La Quinta Motor Inns", *Interfaces*, volumen 20, número 2, 1990, pp. 12–20.

Li, X., "An Intelligent Business Forecaster for Strategic Business Planning", *Journal of Forecasting*, volumen 18, número 3, 1999, pp. 181–205.

Lim, J. S. y M. O'Connor, "Judgmental Forecasting with Time Series and Causal Information", *International Journal of Forecasting*, volumen 12, 1996, pp. 139–153.

Melnyk, Steven, "1997 Forecasting Software Product Listing", *APICS—The Performance Advantage*, abril de 1997, pp. 62–65.

Mitchell, Robert L., "Case Study: Unilever Crosses the Data Streams", *Computerworld*, 17 de diciembre de 2001.

Moon, Mark A., John T. Mentzer y Dwight E. Thomas Jr., "Customer Demand Planning at Lucent Technologies: A Case Study in Continuous Improvement Through Sales Forecast Auditing", *Industrial Marketing Management*, volumen 29, número 1, 2000.

Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners, J. Scott Armstrong, ed., Norwell, MA, Kluwer Academic Publishers, 2001. Visite también www.marketing.wharton.upenn.edu/forecast, donde encontrará información valiosa sobre pronósticos, incluidas las preguntas más frecuentes, el árbol de metodología de pronósticos y un diccionario.

Raghunathan, Srinivasan, "Interorganizational Collaborative Forecasting and Replenishment Systems and Supply-Chain Implications", *Decision Sciences*, volumen 30, número 5, 1999, pp. 1053–1067.

Sanders, Nada R. y L. P. Ritzman, "Bringing Judgment into Combination Forecasts", *Journal of Operations Management*, volumen 13, 1995, pp. 311–321.

Sanders, Nada R. y Karl B. Manrodt, "Forecasting in Practice: Use, Satisfaction and Performance", *Interfaces*, volumen 33, número 5, 2003, pp. 90–93.

Sanders, Nada R. y Larry P. Ritzman, "The Need for Contextual and Technical Knowledge in Judgmental Forecasting", *Journal of Behavioral Decision Making*, volumen 5, número 1, 1992, pp. 39–52.

Schachtman, Noah, "Trading Partners Collaborate to Increase Sales", *Information Week.com,* 9 de octubre de 2000, www.informationweek.com/807/cpfr.htm.

Schoenberger, Chana R., "The Weakest Link", *Forbes,* 1 de octubre de 2001, www.forbes.com/forbes/2001/1001/114.print.html.

Seifert, Dirk, *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment: How to Create a Supply-Chain Advantage*, Bonn, Alemania, Galileo Press, 2002.

Smith, Bernard, *Focus Forecasting: Computer Techniques for Inventory Control*, Boston, CBI Publishing, 1984.

VICS, 2002, "Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment", versión 2.0, www.cpfr.org.

Wallace, Thomas F. y Robert A. Stahl, *Sales Forecasting: A New Approach*, Cincinnati, Ohio, T. E. Wallace & Company, 2002.

Yurkiewicz, Jack, "Forecasting 2000", *OR/MS Today*, volumen 27, número 1, 2000, pp. 58–65.

Yurkiewicz, Jack, "2003 Forecasting Software Survey", *OR/MS Today*, febrero de 2003.

14

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir qué es la planificación de ventas y operaciones.
2. Explicar por qué la agregación es útil en el proceso de planificación.
3. Explicar cómo los planes de ventas y operaciones se relacionan con otros planes.
4. Identificar las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas reactivas y dinámicas.
5. Describir el proceso de planificación.
6. Explicar cómo se utilizan las hojas de cálculo electrónicas y el método de transporte.



Un empleado almacena un aparato de aire acondicionado Whirlpool en una tienda de Lowe, en Westborough, Massachusetts. La demanda de acondicionadores de aire en unidades para ventana no sólo fluctúa por temporada, sino también por año, ya que algunos años son más calurosos que otros. En lugar de aumentar o disminuir la producción con base en un año específico, Whirlpool prefiere basar sus planes de ventas y operaciones en el año *promedio*.

CAPÍTULO 14

Planificación de ventas y operaciones

WHIRLPOOL CORPORATION

Whirlpool Corporation, con ventas anuales de más de 12,000 millones de dólares, 68,000 empleados y casi 50 centros de investigación tecnológica y manufacturera en todo el mundo, fabrica y vende aparatos electrodomésticos grandes. También es uno de los principales productores de equipos de aire acondicionado para espacios habitables. La demanda de unidades para ventana es sumamente estacional y depende también de las variaciones del clima. Típicamente, Whirlpool inicia la producción de sus acondicionadores de aire en otoño y los mantiene en inventario hasta que se embarcan en primavera. La creación de inventarios en la temporada de pocas ventas permite a la compañía nivelar las tasas de producción durante gran parte del año, sin dejar de satisfacer la demanda en los periodos pico (primavera y verano), cuando los comerciantes al detalle hacen la mayor parte de sus pedidos. Sin embargo, cuando se presentan veranos más cálidos que de costumbre, la demanda aumenta de forma espectacular y a veces hay desabasto. Si Whirlpool incrementa la producción y el verano resulta ser muy cálido, la empresa puede elevar sus ventas y su participación de mercado. Pero si el verano es fresco, la compañía se queda con inventarios costosos de máquinas sin vender.

Whirlpool prefiere basar sus planes de producción en el año promedio, tomando en cuenta los pronósticos de la industria para el total de ventas y las temporadas tradicionales. Las operaciones de Whirlpool, que se extienden cada vez más por todo el mundo, atenúan las variaciones de la demanda general que enfrenta la compañía. Por ejemplo, una demanda fuerte en América del Norte y Europa podría compensar con creces las condiciones desfavorables para la economía y los negocios en América Latina y Asia, y así sucesivamente.

Fuente: www.whirlpoolcorp.com/about/default.asp, mayo de 2005.

Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

Con frecuencia, la demanda es irregular a través del tiempo, como en el caso de Whirlpool, que registra cambios estacionales en la demanda de sus productos. Sin embargo, para administrar con eficacia las cadenas de valor se requiere algo más que sólo buenos pronósticos de la demanda. La demanda es la primera mitad de la ecuación, pero la otra mitad es la oferta. La empresa tiene que trazar planes para suministrar los recursos necesarios para satisfacer la demanda pronosticada. Estos recursos incluyen a los trabajadores, materiales, inventarios, recursos financieros y capacidad del equipo.

Para asegurar que los planes de demanda y oferta estén en equilibrio hay que empezar con la **planificación de ventas y operaciones (S&OP)** (del inglés *sales and operations planning)*, que es el proceso de planear los niveles futuros de recursos agregados para que la oferta esté en equilibrio con la demanda. Este plan, que a veces se conoce como *plan agregado*, es una declaración de las tasas de producción, niveles de mano de obra y existencias en inventario de una compañía o departamento, que concuerdan con los pronósticos de la demanda y las restricciones de capacidad. El plan de ventas y operaciones es progresivo y gradual, lo que significa que está proyectado para abarcar varios periodos (por ejemplo, meses) en el futuro.

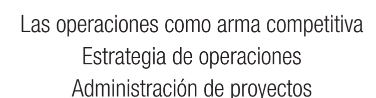
El plan de ventas y operaciones de una empresa de servicios, a menudo conocido como **plan de personal**, se centra en la composición de dicho personal y en otros factores relacionados con los recursos humanos. El plan de ventas y operaciones de una empresa manufacturera, a menudo conocido como **plan de producción**, se centra generalmente en las tasas de producción y las existencias en inventarios. Para ambos tipos de empresas, sean manufactureras o de servicios, el plan debe equilibrar la oferta y la demanda de tal modo que se alcance un término medio entre medidas de desempeño que a veces son contradictorias, entre éstas: servicio al cliente, estabilidad del empleo, costos y utilidades. El plan tiene que satisfacer la estrategia global de operaciones y las prioridades competitivas de la empresa.

Este capítulo se centra en el plan de ventas y operaciones. Para empezar, se explica su propósito y la función de la agregación. En seguida se examina cómo se relaciona con otros planes y áreas funcionales dentro de la empresa. Se describe un proceso de planificación típico y diversas estrategias para hacer frente a la demanda irregular. El capítulo concluye con dos herramientas para buscar buenas soluciones que se someten a mayor consideración: las hojas de cálculo electrónicas y el método de transporte.

planificación de ventas y operaciones (S&OP)
El proceso de planear los niveles futuros de recursos agregados para que la oferta esté en equilibrio con la demanda.

plan de personal
Plan de ventas y operaciones de una empresa de servicios, que se centra en la composición de dicho personal y en otros factores relacionados con los recursos humanos.

plan de producción
Plan de ventas y operaciones de una empresa manufacturera, que se centra en las tasas de producción y las existencias en inventarios.



Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES EN LA ORGANIZACIÓN

La planificación de ventas y operaciones es importante para cada organización que forma parte de la cadena de valor. En primer término, requiere la participación de los gerentes de todas las funciones de la empresa. Marketing proporciona información sobre la demanda y las necesidades de los clientes, y contabilidad aporta datos importantes de los costos y la situación financiera de la compañía. Uno de los objetivos del área de finanzas puede ser reducir el inventario, en tanto que el área de operaciones podría abogar por una fuerza de trabajo más estable y menos dependencia del tiempo extra. En segundo lugar, el plan afecta a todas y cada una de las funciones. Un plan de ventas y operaciones que exige ampliar o reducir la plantilla de personal tiene impacto directo en las necesidades de contratación y capacitación de la función de recursos humanos. A medida que el plan se va implementando, crea flujos de ingresos y costos, de los cuales tiene que ocuparse el área de finanzas ya que ahí se manejan los flujos de efectivo de la empresa. En tercer lugar, cada departamento y grupo en una empresa cuenta con su propio personal. Los gerentes de estos departamentos tienen que tomar decisiones sobre contratación, tiempo extra y vacaciones. La planificación de ventas y operaciones es una actividad de toda la organización, en la que interviene la alta dirección y a menudo necesita el consenso entre objetivos antagónicos de diferentes áreas funcionales.

EL PROPÓSITO DE LOS PLANES DE VENTAS Y OPERACIONES

En esta sección se explicará la razón por la cual las compañías necesitan planes de ventas y operaciones y la forma en que los usan para visualizar una imagen “macro”, es decir, para tener una visión general de su negocio. Se hablará también de la relación entre el plan de ventas y operaciones y los planes a corto y a largo plazo de la compañía.

AGREGACIÓN

El plan de ventas y operaciones es útil porque se centra en un curso de acción general que es consecuente con las metas y objetivos estratégicos de la compañía, sin enredarse con demasiados detalles. Por ejemplo, el plan de ventas y operaciones permite que los gerentes de Whirlpool determinen si podrán satisfacer sus metas presupuestarias, sin tener que programar a cada uno de los millares de empleados y productos de la compañía de forma individual. Incluso si algún plani-

ficador pudiera elaborar un plan tan detallado, el tiempo y el esfuerzo que se requerirían para actualizarlo lo harían antieconómico.

Por esta razón, los planes de producción y de personal se preparan a partir del agrupamiento o *agregación* de servicios, productos, unidades de mano de obra o unidades de tiempo semejantes. Por ejemplo, un fabricante de bicicletas que produce 12 modelos diferentes podría dividirlos en dos grupos, las bicicletas de montaña y las de carreras, para efectos de preparación del plan de ventas y operaciones. También podría tomar en consideración el personal necesario en términos de las unidades de mano de obra que se requieren por mes. En general, las compañías realizan la agregación con base en tres dimensiones: servicios o productos, mano de obra y tiempo.

Familias de productos Un grupo de clientes, servicios o productos que tienen requisitos de demanda similares y requisitos comunes de procesamiento, mano de obra y materiales se denomina **familia de productos**. En algunas ocasiones, las familias de productos se relacionan con agrupaciones de mercado, o con procesos específicos. Una empresa puede agregar sus servicios o productos en un conjunto de familias relativamente amplias, evitando entrar en demasiados detalles en esta etapa del proceso de planificación. El fabricante de bicicletas que ha agregado todos sus productos en dos familias: bicicletas de montaña y bicicletas de carreras, es un buen ejemplo. En este proceso deben usarse medidas comunes y pertinentes, como el número de clientes, dólares, horas estándar, galones o unidades, para trazar los planes de ventas y operaciones de cada familia de productos.

familia de productos

Un grupo de clientes, servicios o productos que tienen requisitos de demanda similares y requisitos comunes de procesamiento, mano de obra y materiales.

Mano de obra Las compañías pueden agregar la mano de obra en diversas formas, dependiendo de la flexibilidad de la fuerza de trabajo. Por ejemplo, si los trabajadores de la fábrica de bicicletas están capacitados para trabajar tanto en la producción de bicicletas de montaña como en la de bicicletas de carreras, la gerencia puede considerar que, para propósitos de planificación, su fuerza de trabajo es un solo grupo agregado, aun cuando las habilidades individuales de los trabajadores sean diferentes.

En otro caso, la gerencia tiene la posibilidad de agregar a los empleados de acuerdo con familias de productos, dividiendo la fuerza de trabajo en subgrupos y asignando un grupo diferente a la fabricación de cada familia de productos. En las operaciones de servicio, como el gobierno de una ciudad, los trabajadores se agregan según el tipo de servicio que proporcionan: bomberos, policías, trabajadores de salubridad y administradores.

Tiempo El horizonte de planificación que abarca un plan de ventas y operaciones típicamente es de un año, aunque puede variar en diferentes situaciones. Para evitar los gastos y el efecto negativo de los cambios frecuentes en las tasas de producción y la fuerza de trabajo, por lo general se realizan ajustes mensuales o trimestrales. En otras palabras, la compañía considera el tiempo en forma agregada (en meses, trimestres o temporadas) y no en días u horas.

Algunas compañías usan periodos mensuales de planificación para la porción más próxima del horizonte de planificación, y periodos trimestrales para la porción restante. En la práctica, los periodos de planificación reflejan un equilibrio entre la necesidad de tener (1) un número limitado de puntos de decisión a fin de reducir la complejidad de la planificación, y (2) flexibilidad para ajustar las tasas de producción y los niveles de la fuerza de trabajo cuando los pronósticos de demanda muestran variaciones estacionales. El fabricante de bicicletas, por ejemplo, puede seleccionar periodos mensuales de planificación para implementar oportunamente los ajustes necesarios en sus niveles de inventario, sin provocar cambios excesivamente perturbadores para la fuerza de trabajo.

RELACIÓN DEL PLAN DE VENTAS Y OPERACIONES CON OTROS PLANES

Una evaluación financiera del futuro cercano de la organización, es decir, dentro de uno o dos años, se denomina plan de negocios (en las empresas con fines de lucro) o plan anual (en los servicios que no persiguen el lucro). El **plan de negocios** es un estado de ingresos, costos y utilidades proyectados. Comúnmente, va acompañado de presupuestos, un balance general (pro forma) proyectado y un estado de los flujos de efectivo proyectados, que indica el origen y la asignación de los fondos. El plan de negocios unifica los planes y expectativas de los gerentes de operaciones, finanzas, ventas y marketing de una empresa. En particular, refleja los planes para la penetración en el mercado, el lanzamiento de nuevos productos y la inversión de capital. Las compañías manufactureras y las organizaciones de servicios con fines de lucro (por ejemplo, una tienda de venta al detalle, un bufete de abogados o un hospital) preparan planes de ese tipo. Una organización de servicios sin fines de lucro, como United Way o un gobierno municipal, prepara un tipo de plan diferente para la evaluación financiera, que se conoce como **plan anual o plan financiero**.

plan de negocios

Estado de ingresos, costos y utilidades proyectados.

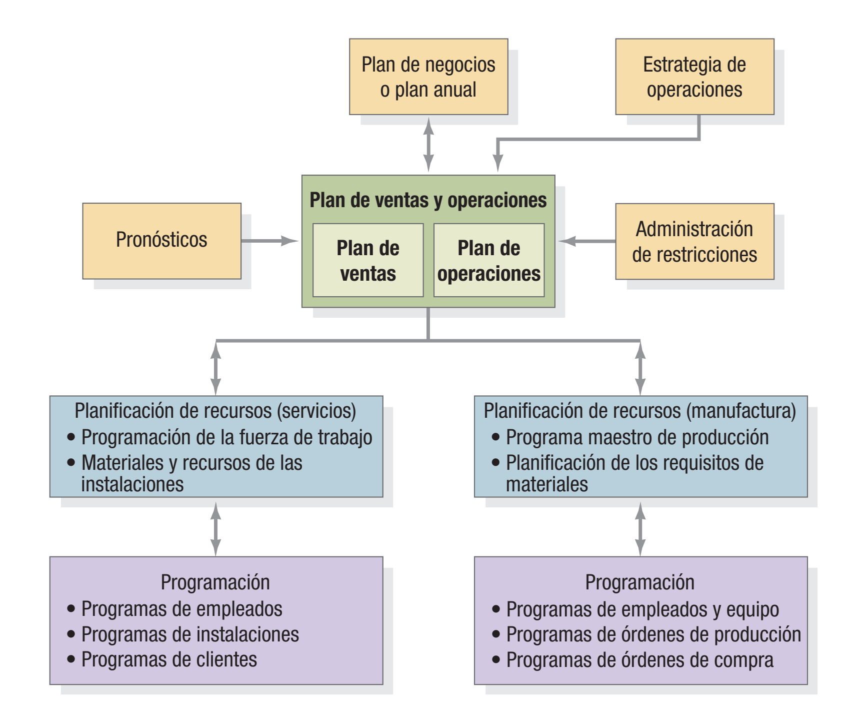
plan anual o plan financiero

Plan para evaluación financiera que usan las organizaciones de servicios sin fines de lucro.

La figura 14.1 ilustra las relaciones entre el plan anual o de negocios, el plan de ventas y operaciones y los planes y programas detallados que se derivan de éste. En el caso de los proveedores de servicios en la cadena de valor, la alta dirección establece el rumbo y los objetivos de la organización en el plan de negocios (en una organización con fines de lucro) o en el plan anual (en una organización sin fines de lucro). Este plan proporciona el marco general para trazar el plan de ventas y operaciones, que típicamente se centra en la composición del personal y otros factores rela-

FIGURA 14.1

La relación del plan de ventas y operaciones con otros planes



cionados con los recursos humanos a un nivel más agregado. Presenta el número y los tipos de empleados que se requerirán para cumplir los objetivos del plan de negocios o anual.

Con base en el plan de ventas y operaciones, el siguiente nivel de planificación para un proveedor de servicios es la *planificación de recursos,* que tiene el propósito de determinar los programas de la fuerza de trabajo de la empresa y otras necesidades de recursos, como materiales e instalaciones, en un nivel más detallado. El *programa de la fuerza de trabajo* detalla el programa de trabajo específico para cada categoría de empleados. Por ejemplo, un plan de ventas y operaciones podría asignar 10 oficiales de policía en el turno diurno de un distrito en particular; el programa de la fuerza de trabajo podría asignar a cinco de ellos para que trabajen de lunes a viernes, y a los otros cinco para que trabajen de miércoles a sábado a fin de satisfacer las distintas necesidades diarias de protección policial en ese distrito. El nivel más bajo de planificación es la *programación,* en la que se elaboran los programas de cada día para los empleados y clientes en lo individual.

Para las empresas manufactureras que forman parte de la cadena de valor, la alta dirección establece los objetivos estratégicos de la compañía para el año siguiente, por lo menos, en el plan de negocios. Éste proporciona el marco general, además de orientación proveniente de la estrategia de operaciones, pronósticos y administración de las restricciones de capacidad. En el plan de ventas y operaciones se especifican las tasas de producción de las diferentes familias de productos, los niveles de inventario y los niveles de la fuerza de trabajo. El siguiente nivel de planificación, por debajo del plan de ventas y operaciones, es la planificación de recursos, en la cual se especifican los productos individuales dentro de cada familia, los materiales comprados y los recursos, en un nivel detallado. El *programa maestro de producción* especifica las fechas y las cantidades de producción que corresponden a cada uno de los elementos de la familia de productos. A continuación, el proceso de *planificación de los requisitos de materiales* genera planes para componentes, materiales comprados y estaciones de trabajo. Con ocurre con los proveedores de servicios, el nivel de planificación más bajo y detallado es el de programación. En este proceso se elaboran los programas de cada día o se establecen las prioridades para los empleados, equipo y órdenes de producción o compra. Así, el plan de ventas y operaciones desempeña un papel clave para traducir las estrategias del plan de negocios en un plan de operaciones para el proceso de manufactura.

Como indican las flechas de la figura 14.1, la información fluye en dos direcciones: de arriba abajo (de lo general a los detalles) y de abajo arriba (de los detalles a lo general). Si no es posible elaborar un plan de ventas y operaciones que satisfaga los objetivos del plan de negocios o del plan anual con los recursos existentes, tal vez sea necesario ajustar el plan de negocios o el plan anual. Asimismo, si no se puede elaborar un programa maestro de producción o un programa de la fuerza de trabajo que sea viable, quizá sea necesario hacer ciertos ajustes en el plan de ventas y operaciones. El proceso de planificación es dinámico, ya que incluye revisiones o ajustes periódicos del plan basados en flujos de información en ambos sentidos, que típicamente se realizan cada mes.

EL CONTEXTO DE LA DECISIÓN

La preparación de los planes de ventas y operaciones implica tomar decisiones. Esta sección se centra en las entradas de información, objetivos, alternativas y estrategias que intervienen en dichas decisiones.

ENTRADAS DE INFORMACIÓN

Así como se necesita consenso para pronosticar la demanda, también se requiere llegar a un consenso entre los departamentos de la empresa cuando se toman decisiones referentes a la oferta. Se buscan entradas de información para crear un plan que funcione bien para todos. La figura 14.1 muestra las entradas de información fundamentales: el plan de negocios o el plan anual, la estrategia de operaciones, las restricciones de capacidad y los pronósticos de la demanda. La figura 14.2 va más allá y muestra los tipos de información que aporta cada área funcional. Toda esta información debe tomarse en cuenta para garantizar que el plan sea no sólo bueno, sino también realizable. Esta coordinación ayuda a sincronizar el flujo de servicios, materiales e información a través de la cadena de valor para balancear mejor la oferta y la demanda de los clientes.

OBJETIVOS TÍPICOS

Las numerosas áreas funcionales de una organización que aportan información para el plan de ventas y operaciones típicamente tienen objetivos diferentes relacionados con el uso de los recursos de la organización. En general, se consideran seis objetivos durante la preparación de un plan:

1. *Minimizar los costos y maximizar las utilidades*. Si el plan no afecta la demanda del cliente, al minimizar los costos también se maximizan las utilidades.
2. *Maximizar el servicio al cliente*. Para mejorar el tiempo de entrega y las entregas puntuales pueden requerirse recursos adicionales de personal, capacidad de máquinas o inventario.
3. *Minimizar la inversión en inventario*. Las acumulaciones de inventario resultan costosas porque ese dinero podría invertirse en otras cosas más productivas.
4. *Minimizar los cambios en las tasas de producción*. Los cambios frecuentes en las tasas de producción pueden ocasionar dificultades en la coordinación del suministro de materiales y requieren volver a balancear la línea de producción.
5. *Minimizar los cambios en los niveles de la fuerza de trabajo*. Las fluctuaciones en los niveles de la fuerza de trabajo pueden provocar descensos en la productividad porque es muy común que los empleados de nuevo ingreso necesiten tiempo para llegar a ser plenamente productivos.
6. *Maximizar la utilización de planta y equipo*. Los procesos intensivos en capital requieren una utilización uniformemente alta de la planta y el equipo.

Para establecer un equilibrio entre todos estos objetivos y establecer un plan de ventas y operaciones aceptable, es necesario considerar diversas alternativas. Los dos tipos básicos de alternativas son: (1) reactivas, y (2) dinámicas. Las alternativas reactivas son acciones que responden a patrones de demanda determinados, en tanto que las alternativas dinámicas son acciones que intentan modificar los patrones de demanda y, en consecuencia, las necesidades de recursos.

ALTERNATIVAS REACTIVAS

Las **alternativas reactivas** son acciones que pueden emprenderse para hacer frente a los requerimientos de la demanda. Normalmente, el gerente de operaciones controla las alternativas reactivas.

alternativas reactivas
Acciones que pueden emprenderse para hacer frente a los requerimientos de la demanda.

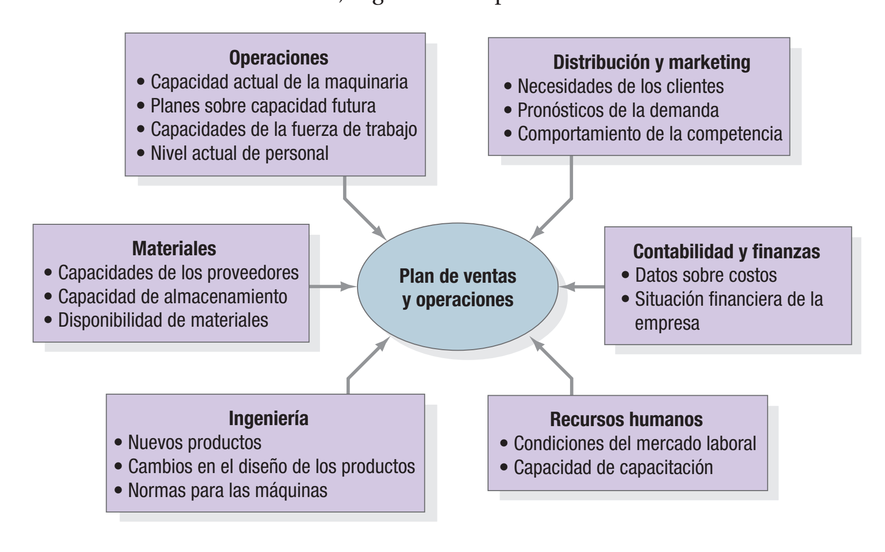


FIGURA 14.2
Insumos administrativos de las áreas funcionales para los planes de ventas y operaciones

Es decir, el gerente de operaciones acepta la demanda pronosticada como un hecho y modifica los niveles de la fuerza de trabajo, el tiempo extra, la programación de vacaciones, los niveles de inventario, la subcontratación y la acumulación planeada de pedidos, con miras a satisfacer esa demanda.

inventario de previsión

Inventario que se usa para absorber las tasas irregulares de demanda o de oferta.

Inventario de previsión El **inventario de previsión** se usa para absorber las tasas irregulares de demanda o de oferta. Por ejemplo, una planta que enfrenta demanda estacional tiene la posibilidad de acumular un inventario de previsión durante los periodos de poca demanda para utilizarlo en los periodos de demanda intensa. Los fabricantes de sistemas de aire acondicionado, como Whirlpool, pueden tener 90% de su demanda anual concentrada en tan sólo tres meses del año. Si las tasas de producción se nivelan con inventario, esto puede aumentar la productividad porque los ajustes en la fuerza de trabajo suelen ser muy costosos. Contar con un inventario adicional, o *inventario de previsión,* también resulta útil cuando la oferta, y no la demanda, es irregular. Por ejemplo, una compañía puede surtirse de cierto artículo que compra si sus proveedores prevén limitaciones graves de capacidad. A pesar de sus ventajas, puede ser costoso mantener un inventario de previsión, en particular cuando se trata de bienes terminados. Además, cuando los servicios o productos son personalizados, habitualmente no es posible mantener inventarios de previsión. No se puede fabricar un producto para mantenerlo en inventario si se desconocen sus especificaciones o si no es probable que los clientes quieran lo que se ha producido con anticipación porque no satisface sus requerimientos precisos.

En general, los proveedores de servicios que forman parte de la cadena de valor no usan inventarios de previsión porque los servicios no pueden almacenarse. Sin embargo, en algunos casos es posible prestar algunos servicios antes de que realmente se necesiten. Por ejemplo, los trabajadores de las compañías de teléfonos suelen instalar los cables para llevar el servicio a una nueva subdivisión desde antes de que se inicie la construcción de las viviendas. Pueden realizar esos trabajos en un periodo en el que la carga de trabajo de servicios programados es baja.

Ajuste de la fuerza de trabajo La gerencia puede ajustar los niveles de la fuerza de trabajo mediante la contratación o el despido de empleados. Esta alternativa resulta atractiva si la fuerza de trabajo es, en su mayoría, no calificada o semicalificada y si la reserva de mano de obra es abundante. Es más probable encontrar estas condiciones en algunos países que en otros. Sin embargo, para cualquier compañía en particular, la magnitud de la reserva de mano de obra calificada puede limitar el número de nuevos empleados que es posible contratar en un momento determinado. Además, es necesario capacitar a los nuevos empleados, y la capacidad de las instalaciones donde se imparte la capacitación puede limitar el número de nuevos empleados en un momento dado. En algunas industrias, el cese de empleados resulta difícil o es inusual por razones contractuales (impuestas por los sindicatos); en otras industrias, como las de turismo y en la agricultura, los despidos y las contrataciones de carácter estacional constituyen la norma.

tiempo extra

Tiempo que los empleados trabajan además de lo previsto en la jornada o semana laboral normal y por el cual reciben un pago adicional.

tiempo improductivo

Situación que se presenta cuando los empleados no tienen suficiente trabajo para mantenerse ocupados durante todo el tiempo regular de la jornada o semana laboral.

Utilización de la fuerza de trabajo Una alternativa al ajuste de la fuerza de trabajo es el cambio en la utilización de dicha fuerza, que incluye el tiempo extra y el tiempo improductivo. **Tiempo extra** significa que los empleados trabajan más tiempo que el previsto en la jornada o semana laboral normal y reciben un pago adicional por ese tiempo extraordinario. Éste se usa para satisfacer las necesidades de producción que no es posible atender en el tiempo regular. Sin embargo, el tiempo extra es costoso (generalmente, se paga al 150% de la tarifa correspondiente al tiempo regular). Además, es frecuente que los trabajadores no quieran trabajar mucho tiempo extra durante un periodo prolongado, y el exceso de tiempo extra se puede traducir en una disminución de la calidad y la productividad.

El término **tiempo improductivo** significa que los empleados no tienen suficiente trabajo para mantenerse ocupados durante todo el tiempo regular de la jornada o semana laboral. Por ejemplo, no se les puede utilizar plenamente durante ocho horas diarias o durante cinco días a la semana. El tiempo improductivo se utilizan cuando la capacidad de mano de obra es mayor que los requisitos de demanda (sin tomar en cuenta el inventario de previsión), y este exceso de capacidad no puede o no debe emplearse productivamente para acumular inventarios o para satisfacer pedidos de clientes en fechas anteriores a las ya prometidas para su entrega.

El tiempo improductivo pueden ser con o sin goce de sueldo. Un ejemplo de *tiempo improductivo sin goce de sueldo* se presenta cuando a los empleados de tiempo parcial se les pagan únicamente las horas o días que efectivamente trabajaron. Tal vez trabajan solamente en las horas del día en que hay más movimiento o en los días de actividad pico de la semana. A veces, los contratos laborales de tiempo parcial incluyen horarios de trabajo previsibles, como laborar diariamente las mismas horas durante cinco días consecutivos cada semana. Otras veces, como cuando se trata del trabajo de estibadores en algunas operaciones de almacén, los horarios de los trabajadores son imprevisibles y dependen del número de embarques a clientes que se hayan previsto para el día siguiente. Si la carga de trabajo es ligera, algunos trabajadores no serán llamados al almacén. Estos acuerdos son más comunes en los puestos que requieren poca capacitación o cuando la oferta de trabajadores dispuestos a aceptar ese tipo de arreglos es abundante. Si bien es cierto que el tiempo improductivo sin goce de sueldo puede minimizar los costos, las empresas tienen que sopesar las consideraciones de costo frente a los aspectos éticos que definen lo que debe ser un buen empleador.

Un ejemplo de *tiempo improductivo con goce de sueldo* se presenta cuando los empleados continúan figurando en la nómina, en lugar de ser despedidos. En esta situación, los empleados trabajan el día completo y reciben el salario íntegro, pero no se mantienen igual de ocupados porque la carga de trabajo es ligera. Algunas compañías usan el tiempo improductivo pagado (aunque no lo llamen así) durante los periodos de poca actividad, sobre todo cuando tienen empleados altamente calificados y difíciles de sustituir, o cuando existen obstáculos para despedir a los trabajadores. Entre las desventajas del tiempo improductivo con goce de sueldo se puede mencionar el costo de pagar trabajo no realizado y la menor productividad.

Programación de vacaciones Un fabricante puede cerrar su planta durante el receso anual de las ventas, dejando solamente una cuadrilla básica de trabajadores para cubrir las operaciones y realizar tareas de mantenimiento. Es posible que a los empleados de los hospitales se les pida que tomen una parte o la totalidad del tiempo de vacaciones al cual tienen derecho durante los periodos de poca actividad. El uso de esta alternativa depende de que el empleador pueda imponer los programas de vacaciones a sus empleados. En todo caso, se puede disuadir a los empleados de que tomen vacaciones en los periodos de mayor actividad, o alentarlos a que las tomen en las épocas en las que hay menos trabajo.

Subcontratistas Los subcontratistas pueden usarse para superar la insuficiencia de capacidad a corto plazo, como ocurre durante los días de mayor demanda de la temporada o del ciclo de negocios. Los subcontratistas son capaces de proveer servicios, fabricar componentes y subunidades, e incluso ensamblar un producto completo. Si el subcontratista puede suministrar componentes o subunidades de calidad igual o superior, a menor precio del que la compañía es capaz de producirlos, los acuerdos de ese tipo pueden volverse permanentes.

Acumulación de pedidos, pedidos atrasados y desabasto Las empresas de la cadena de valor que acumulan pedidos como una práctica normal de sus negocios pueden permitir que esa acumulación aumente en los periodos de alta demanda y después reducirla en las épocas de demanda baja. Una **acumulación de pedidos** es un cúmulo de pedidos cuya entrega se ha prometido a los clientes para alguna fecha futura. Las compañías que usan la acumulación de pedidos no ofrecen entregarlos en forma instantánea, como hacen los mayoristas o detallistas localizados más adelante en la cadena de valor. En lugar de eso, imponen un tiempo de espera entre el momento en que se coloca el pedido y la fecha en que éste se entregará. Las empresas que más probablemente utilizan la acumulación de pedidos (y aumentan el tamaño de dichas acumulaciones en los periodos de demanda intensa) son las que fabrican productos personalizados y las que proveen servicios también personalizados. Esas empresas tienden a seguir una estrategia de fabricación por pedido o de servicios personalizados. Entre ellas figuran los fabricantes de aviones (como Boeing y Airbus), consultorios dentales, talleres para reparación de televisores, talleres mecánicos de reparación de automóviles. La acumulación de pedidos reduce la incertidumbre en torno a las necesidades futuras de producción y también puede usarse para nivelar dichas necesidades. Sin embargo, se convierte en desventaja competitiva cuando la acumulación es demasiado grande. La prontitud en la entrega es a menudo una prioridad competitiva importante, pero las grandes acumulaciones de pedidos implican tiempos de entrega prolongados.

acumulación de pedidos
Un cúmulo de pedidos cuya entrega se ha prometido a los clientes para alguna fecha futura.

En el caso de los proveedores de servicios que ofrecen servicios estandarizados con poco contacto con los clientes y los fabricantes que siguen una estrategia de fabricación para mantener en inventario, se espera que la entrega sea inmediata. Para ellos, el servicio deficiente al cliente durante los periodos de máxima demanda adopta la forma de pedidos atrasados y desabasto, pues no pueden tener grandes acumulaciones de pedidos. Un **pedido atrasado** es un pedido de un cliente que no puede surtirse de inmediato, pero que será atendido en cuanto sea posible. Aunque el cliente no se siente complacido con la demora, la empresa no pierde el pedido de dicho cliente y lo surte en una fecha posterior. Por ejemplo, un cliente puede ir a una tienda esperando comprar un cierto tipo de reloj que está agotado temporalmente. El detallista le promete colocar un pedido de reabastecimiento a la brevedad posible y llamar al cliente en cuanto reciba la mercancía.

pedido atrasado
Pedido de un cliente que no puede surtirse de inmediato, pero que será atendido en cuanto sea posible.

El **desabasto** es algo muy similar, salvo que el pedido se pierde y el cliente recurre a otro proveedor. Un pedido atrasado se suma a las necesidades del periodo siguiente, en tanto que el desabasto no incrementa los requerimientos futuros. Los pedidos atrasados y el desabasto pueden ser causa de que los clientes insatisfechos prefieran tratar con otra compañía en el futuro. En general, los pedidos atrasados y el desabasto deben evitarse.

desabasto
Pedido que se pierde y es causa de que el cliente recurra a otro proveedor.

En conclusión, las decisiones relativas al uso de cada alternativa en cada uno de los periodos del horizonte de planificación especifican la tasa de producción que corresponderá a cada periodo. En otras palabras, la tasa de producción es una función de las alternativas que se hayan seleccionado.

ALTERNATIVAS DINÁMICAS

El uso de alternativas reactivas para hacer frente a la demanda estacional o volátil puede ser costoso. Otro método consiste en tratar de modificar los patrones de demanda para alcanzar la eficiencia y reducir los costos. Las **alternativas dinámicas** son acciones con las cuales se intenta mo-

alternativas dinámicas
Acciones con las cuales se intenta modificar la demanda y, en consecuencia, las necesidades de recursos.

dificar la demanda y, en consecuencia, las necesidades de recursos. Típicamente, los gerentes de marketing son responsables de especificar esas acciones en el plan de marketing.

productos complementarios

Servicios o productos que tienen necesidades similares de recursos, pero cuyos ciclos de demanda son diferentes.

Productos complementarios Una de las formas en que las empresas logran que la carga impuesta sobre sus recursos sea más uniforme consiste en producir servicios o **productos complementarios** que tienen necesidades similares de recursos, pero cuyos ciclos de demanda son diferentes. Por ejemplo, los fabricantes de matzá, el pan ácimo tradicional que se consume en la fiesta de Pascua judía, tienen una demanda estacional. Anteriormente, el 40% de las ventas anuales de B. Manischewitz Company, un fabricante de alimentos kosher de Jersey City, se concentraba en los ocho días que dura la festividad de la Pascua. La empresa se amplió hacia mercados de productos que tienen atractivo todo el año, como los alimentos con bajo contenido de carbohidratos y grasas, que incluyen sopas enlatadas y galletas saladas, borscht, harinas preparadas para pasteles, aderezos y comida para untar, jugos y condimentos. En el sector de servicios, los departamentos municipales de parques y recreación pueden compensar los requisitos de personal eventual para las actividades de verano, ofreciendo patinaje sobre hielo, competencias en toboganes o actividades en interiores durante los meses de invierno. La clave consiste en encontrar productos y servicios que puedan producirse con los recursos existentes y que permitan nivelar las necesidades de recursos a lo largo de todo el año.

Creatividad en los precios Las campañas promocionales tienen la finalidad de incrementar las ventas mediante el uso de la creatividad en los precios. Algunos ejemplos de esto son los programas de rebajas en los precios de automóviles, las reducciones de precios de la ropa de invierno en los meses de verano, los descuentos en los pasajes de aerolíneas para viajar en periodos de temporada baja y las ventas de neumáticos para automóviles en las que se ofrecen "dos por el precio de uno".

ESTRATEGIAS DE PLANIFICACIÓN

Con frecuencia, los gerentes combinan en diversas formas las alternativas reactivas y dinámicas. En el resto de este capítulo se supondrá que los resultados esperados de las alternativas dinámicas ya se han incorporado a los pronósticos de la demanda. Aquí, la atención se centrará en las alternativas reactivas con las cuales se definen las tasas de producción y los niveles de la fuerza de trabajo. Hay tres estrategias diferentes que constituyen puntos de partida útiles en la búsqueda del mejor plan.

estrategia de persecución

Estrategia que requiere la contratación y el despido de empleados para acoplarse al pronóstico de la demanda.

estrategia al nivel de utilización

Estrategia que consiste en mantener constante la fuerza de trabajo, pero variando su utilización para acoplarse al pronóstico de la demanda.

estrategia al nivel de inventario

Estrategia que depende de los inventarios de previsión, pedidos atrasados y desabasto para mantener constantes tanto la tasa de producción como la fuerza de trabajo.

1. *Estrategia de persecución.* La **estrategia de persecución** requiere la contratación y el despido de empleados para acoplarse al pronóstico de la demanda durante el horizonte de planificación. Para modificar la capacidad de mano de obra en el tiempo regular a fin de igualar la demanda y la oferta no se requiere inversión en inventarios, tiempo extra o tiempo improductivo. Sin embargo, hay algunas desventajas, como el gasto que implica el ajuste continuo de los niveles de la fuerza de trabajo, el posible distanciamiento de los trabajadores y la pérdida de productividad y calidad a causa de los constantes cambios en la fuerza de trabajo.
2. *Estrategia al nivel de utilización.* La **estrategia al nivel de utilización** consiste en mantener constante la fuerza de trabajo (salvo, posiblemente, al principio de horizonte de planificación), pero variando su utilización para acoplarse al pronóstico de la demanda por medio del tiempo extra, el tiempo improductivo (con o sin goce de sueldo) y la planificación de las vacaciones (es decir, vacaciones pagadas cuando la demanda es baja). Una fuerza de trabajo constante puede dimensionarse en muchos niveles: los gerentes pueden decidir mantener una fuerza de trabajo grande para minimizar el uso planeado del tiempo extra durante los periodos pico (lo que, por desgracia, también maximiza la necesidad de tener tiempo improductivo durante los periodos de poca actividad). Por otra parte, pueden optar por mantener una fuerza de trabajo más pequeña y depender en gran medida del tiempo extra durante los periodos pico (lo que ejerce presión sobre la fuerza de trabajo y pone en peligro la calidad).
3. *Estrategia al nivel de inventario.* Una **estrategia al nivel de inventario** consiste en mantener constantes tanto la tasa de producción como la fuerza de trabajo (salvo, posiblemente, al principio del horizonte de planificación). La variabilidad de la demanda se maneja con los inventarios de previsión, pedidos atrasados y desabasto. Los inventarios de previsión se forman en los periodos de poca actividad para cubrir las temporadas de máxima demanda. Si los inventarios no bastan, las deficiencias se cubren con pedidos atrasados y desabasto. Una vez más, la fuerza de trabajo puede dimensionarse en muchos niveles.

estrategia mixta

Estrategia que toma en consideración e implementa una gama más completa de alternativas reactivas que una sola estrategia "pura".

Cuando se usa una sola estrategia, es difícil que ésta produzca el mejor plan de ventas y operaciones aceptable. Ni la fuerza de trabajo ni la tasa de producción pueden mantenerse exactamente niveladas, y la oferta tampoco puede coincidir exactamente con la demanda pronosticada periodo tras periodo. Se pueden crear inventarios de previsión, pero sólo hasta cierto punto. Por lo tanto, la mejor estrategia es generalmente una **estrategia mixta** que toma en consideración e implementa una gama más completa de alternativas reactivas que una sola estrategia "pura". Por ejemplo, algunos planes eficaces hacen uso de la subcontratación e incluyen la contratación de empleados eventuales durante la temporada pico. En la práctica administrativa 14.1 se describe el uso de otra opción: Hallmark mantiene estable su fuerza de trabajo, utilizando la flexibilidad de los trabajadores para evitar el tiempo improductivo.

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA**

14.1 ESTRATEGIA DE FUERZA DE TRABAJO Y COMPROMISO CON LOS EMPLEADOS

Hallmark

HHallmark, empresa que tenía ingresos anuales de 4,400 millones de dólares y 18,000 empleados de tiempo completo en 2004, gasta una cantidad considerable de recursos para producir y distribuir con eficacia más de 40,000 productos diferentes, como tarjetas de felicitación, flores, regalos y adornos de recuerdo, a través de 43,000 tiendas minoristas sólo en Estados Unidos. Ha logrado avances significativos en eficiencia sin tener que recurrir a recortes de personal. Hallmark nunca ha recurrido a los despidos para ajustar las tasas de producción de sus tarjetas, aun cuando su línea de negocios es altamente competitiva, registra escaso crecimiento y es estacional. Por ejemplo, más personas celebran sus cumpleaños durante el tercer trimestre, en los meses de julio, agosto y septiembre, que en cualquier otra época del año. La flexibilidad de los empleados es la clave de esta estrategia. Las cuatro plantas de la compañía producen millones de tarjetas todos los días, además de papel para envoltura de regalos y otros artículos para fiestas. Aun cuando la tecnología de esta industria ha hecho que los procesos de producción sean cada día más eficientes en términos de mano de obra, Hallmark sigue la filosofía de impartir capacitación continua a sus empleados para que aprendan nuevas habilidades de trabajo y sean más flexibles. Por ejemplo, el operador de una máquina cortadora también puede ser impresor de tarjetas personalizadas, pintor o ensamblador de oficinas modulares, según se requiera. Para mantener ocupados a sus trabajadores, Hallmark transfiere la producción de su planta en Kansas City a sus plantas sucursales en Topeka, Leavenworth y Lawrence, Kansas, para utilizar estas plantas al máximo de su capacidad. La compañía usa la planta de Kansas City como "instalación trampolín". Cuando la demanda baja, los empleados de Kansas City pueden desempeñar puestos de oficina a las tarifas salariales de la fábrica. También pueden ser enviados a las aulas para que aprendan nuevas habilidades.

Según el ex director general de la compañía, Irvine O. Hockaday, Hallmark debe proteger a sus empleados contra los efectos de los mercados cíclicos y otros acontecimientos inesperados que están fuera de su control. Sin embargo, la seguridad adicional del empleo conlleva la expectativa de que el desempeño de los empleados será proporcional al paquete de remuneración que se les ofrece. Esta filosofía ha redituado buenos dividendos. Por ejemplo, reducir los tiempos de preparación para poder realizar partidas de producción cortas es crucial para que los inventarios y los costos se mantengan en un nivel bajo. Los empleados proponen maneras para reducir sensiblemente los tiempos de preparación. Esta política de fuerza de trabajo estable ha sido un factor muy importante que ha permitido a Hallmark convertirse en el líder del mercado y captar cerca del 57% del mercado nacional de tarjetas, cuyo valor total es de 8,000 millones de dólares.

Lincoln Electric

Lincoln Electric, empresa fabricante de equipo para soldar fundada en Cleveland, Ohio, en 1895, ofrece empleo garantizado a quienes tiene tres o más años de servicio, desde la década de 1950. Lincoln capacita en varias especialidades a sus empleados para poder moverlos a diferentes puestos y áreas, según sea necesario. Aunque la política de no despidos parece ser la excepción más que la regla entre las grandes compañías estadounidenses, los ejecutivos de las empresas que no hacen despidos, como Hallmark y Southwest Airlines, sostienen que conservar a sus empleados, incluso en épocas terribles, genera lealtad inquebrantable, mayor productividad y la innovación necesaria para permitir a sus compañías recuperarse con rapidez en cuanto la economía comienza a repuntar. Además, las empresas que evitan los recortes de personal también tienden a tener ventaja en materia de reclutamiento de personal sobre las compañías que rutinariamente despiden a sus empleados, y ofrecen una mejor tasa de rendimiento a sus accionistas con el tiempo. Por otra parte, cuando las compañías optan por implementar despidos masivos, los resultados pueden ser contraproducentes. Cuando se toman en cuenta los costos de liquidación y recontratación, las posibles demandas de trabajadores agraviados, la falta de personal cuando la economía repunta y la desconfianza en la gerencia, los beneficios de los recortes de personal parecen esfumarse.



A pesar de que la línea de negocios de Hallmark se basa en las estaciones del año, la compañía nunca ha despedido a sus empleados; en lugar de eso les imparte capacitación para que sean capaces de desempeñar diferentes trabajos en distintos momentos y hasta en diferentes plantas si es necesario. En virtud de que los empleados saben que disfrutan de seguridad en el empleo, trabajan arduamente para mantener en un nivel bajo los tiempos de preparación y los costos de Hallmark.

Fuentes: "Loyal to a Fault", *Forbes,* 14 de marzo de 1994, pp. 58–60; Stephanie Armour, "Some Companies Choose No-Layoff Policy", *USA Today,* 17 de diciembre de 2001, p. 1B; Michelle Conlin, "Where Layoffs Are a Last Resort", *Business Week,* 8 de octubre de 2001, p. 42; Elizabeth Smith Barnes, "No Layoff Policy", *Workforce,* julio de 2003, pp. 96–99; www.hallmark.com, julio de 2005.

RESTRICCIONES Y COSTOS PERTINENTES

Un plan aceptable de ventas y operaciones debe reconocer las restricciones o costos pertinentes. Las restricciones pueden ser limitaciones físicas o relacionarse con las políticas administrativas. Son ejemplo de restricciones físicas las instalaciones de capacitación que sólo pueden atender a un número limitado de nuevos empleados a la vez, la capacidad de las máquinas que limita la producción máxima o el espacio insuficiente para almacenamiento de inventarios. Las restricciones de política incluyen las limitaciones a la cantidad aceptable de pedidos atrasados o el uso de subcontratación u horas extra, así como los niveles mínimos de inventario necesarios para alcanzar los inventarios de seguridad deseados.



El tiempo extra y la subcontratación (uso de empleados de tiempo parcial) son alternativas reactivas que se aplican frecuentemente en la industria del cuidado de la salud para mantener los costos bajo control. Como consecuencia de ello han ocurrido protestas en estados como Boston, California, Hawai, Minnesota, Ohio y Pennsylvania, donde las enfermeras se oponen al uso excesivo de estas alternativas. En Boston, enfermeras profesionales dieron una conferencia de prensa en la casa de gobierno, donde se publicó un estudio que afirmaba que los bajos niveles del personal de enfermería en los hospitales del estado estaba amenazando la atención que debe darse a los pacientes.

Típicamente, muchos planes contienen varias restricciones. El planificador considera por lo general varios tipos de costos cuando prepara los planes de ventas y operaciones:

1. *Costos del tiempo regular*. Estos costos incluyen los salarios pagados a los empleados en el tiempo regular, más las aportaciones destinadas a diversas prestaciones, como seguro médico, servicios dentales, Seguro Social, fondos de jubilación y pagos por concepto de vacaciones, días festivos y algunos otros tipos de ausencias.
2. *Costos de tiempo extra*. Los salarios por concepto de tiempo extra representan típicamente el 150% de los salarios en tiempo regular, sin contar las prestaciones adicionales. Algunas compañías ofrecen tarifas de 200% por trabajar tiempo extra los domingos y días festivos.
3. *Costos de contratación y despido*. Entre los costos de contratación figuran los costos que implican los anuncios de empleo, las entrevistas, los programas de capacitación para nuevos empleados, el material desperdiciado a causa de la inexperiencia de los nuevos empleados, la pérdida de productividad y los trámites iniciales. Entre los costos de despido figuran los costos de las entrevistas de salida, el pago de indemnización por cese de empleo, el readiestramiento de los trabajadores y gerentes restantes y la pérdida de productividad.
4. *Costos por mantenimiento de inventario*. Entre los costos por mantenimiento de inventario figuran algunos costos que varían según el *nivel* de la inversión en inventario: los costos del capital inmovilizado en el inventario, los costos variables de almacenamiento y movimiento de almacén, los costos de robos y obsolescencia, los costos de seguros y los impuestos.
5. *Costos por concepto de pedidos atrasados y desabasto*. Como se mencionó anteriormente, el uso de pedidos atrasados y desabasto ocasiona costos adicionales para agilizar los pedidos vencidos, costos de ventas perdidas y el costo potencial de perder a cliente que se va con un competidor (lo que se conoce a veces como la pérdida de crédito mercantil).

PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES COMO PROCESO

La planificación de las ventas y operaciones es un proceso de toma de decisión en el que intervienen tanto los planificadores como la gerencia. Se trata de un proceso dinámico y continuo, ya que diversos aspectos del plan se actualizan periódicamente cuando se dispone de nueva información o se presentan nuevas oportunidades. Es un proceso interfuncional que busca obtener un conjunto de planes que todas las funciones de la empresa puedan apoyar. Por cada familia de productos, se toman decisiones basadas en las ventajas y desventajas en costos, la historia reciente, las recomendaciones de los planificadores y los gerentes de nivel medio, y el juicio del equipo ejecutivo.

La figura 14.3 muestra el plan típico de una empresa manufacturera. El plan es para una de las familias de productos que el fabricante produce para mantener en inventario, y se expresa en unidades agregadas. Esta hoja de cálculo sencilla muestra la interacción entre la demanda y la oferta. El historial de la izquierda, que abarca de enero a marzo, muestra cómo los pronósticos coinciden con las ventas reales y el grado en que la producción real se ajusta al plan. Las proyecciones del inventario revisten especial interés para el área de finanzas porque afectan considerablemente las necesidades de efectivo de la empresa manufacturera. Las dos últimas columnas de parte superior derecha muestran cómo las proyecciones de ventas para el ejercicio fiscal en curso se comparan con el plan de negocios actual.

Este plan en particular se ha proyectado para 18 meses a partir de abril. Las secciones relativas al pronóstico, operaciones e inventario para los primeros seis meses se muestran mes a mes. En seguida,

Plan de ventas y operaciones de Artic Air Company correspondiente a abril de 2006

Familia: Unidades de ventana medianas (fabricación para mantener en inventario) *Unidad de medición:* 100 unidades

	HISTORIAL									Terceros	Cuartos	Meses	Proyección para el	Plan de ne-
VENTAS	J	F	M	A*	M	J	J	A	S	3 meses**	3 meses	13–18	ejercicio fiscal ($000)	gocios ($000)
Nuevo pronóstico	45	55	60	70	85	95	130	110	70	150	176	275	$8,700	$8,560
Ventas reales	52	40	63											
Dif. en el mes	7	–15	3											
Acumulado		–8	–5											
OPERACIONES														
Nuevo plan	75	75	75	75	75	85	85	85	75	177	225			
Real	75	78	76											
Dif. en el mes	0	3	1											
Acumulado		3	4											
INVENTARIO														
Plan	85	105	120	125	115	105	60	35	40	198	321			
Real	92	130	143											

NOTAS Y SUPOSICIONES SOBRE DEMANDA
1. Diseño de nuevo producto que se lanzará en enero de 2007.

NOTAS SOBRE OFERTA
1. Vacaciones sobre todo en noviembre y diciembre.
2. Tiempo extra en julio y agosto.

* Abril es el primer mes del horizonte de planificación de este plan. Cuando se elabore el plan del siguiente mes, el primer mes en el horizonte de planificación será mayo, y el mes más reciente del historial será abril (enero ya no aparecerá en el historial).

** Esta columna contiene los totales de ventas, operaciones e inventario de octubre a diciembre. Por ejemplo, el pronóstico de 150 unidades se traduce en un promedio de 50 unidades por mes (o 150/3 = 50).

FIGURA 14.3

Plan de ventas y operaciones para una familia de productos que se fabrican para mantener en inventario

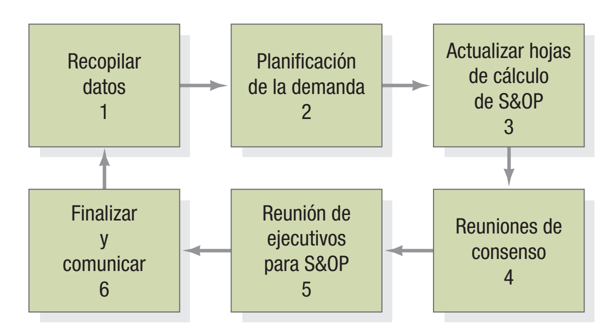
Fuente: Thomas F. Wallace, *Sales & Operations Planning: The How-To Handbook*, 2a. edición, Cincinnati, Ohio, T. E. Wallace & Company, 2004.

los segundos seis meses aparecen por trimestre. Por último, los totales de los últimos seis meses en el horizonte de tiempo se presentan en una sola columna. Esta representación da más precisión al corto plazo, pero incluye una buena cobertura del futuro, y todo con un número limitado de columnas.

Esta familia de productos en particular, que se fabrica para mantener en inventario, tiene una demanda altamente estacional. El plan de operaciones consiste en acumular el inventario estacional en la temporada baja, programar las vacaciones tanto como sea posible en noviembre y diciembre, y usar tiempo extra en la temporada pico de junio, julio y agosto. Las hojas de cálculo del plan usan diferentes formatos, dependiendo de la estrategia de producción e inventario. En una estrategia de ensamblaje por pedido, el inventario no consiste en bienes terminados. En cambio, es un inventario de componentes estandarizados y subunidades construidas para las operaciones de acabado y ensamblaje. En la estrategia de fabricación por pedido, se sustituye la sección de inventario en el plan de la figura 14.3 por una sección que muestre las cantidades planeadas y reales de pedidos acumulados.

Los planes de los proveedores de servicios son muy diferentes. Por un lado, su plan no contiene una sección de inventario, sino que se centra en la oferta y la demanda de recursos humanos. Los pronósticos se expresan típicamente en función de los empleados requeridos, con filas diferentes para tiempo regular, tiempo extra, vacaciones, trabajadores de tiempo parcial, etcétera. Los diferentes departamentos o clasificaciones de trabajadores sustituyen a las familias de productos.

El proceso mismo, que por lo general se realiza mensualmente, consta de seis pasos básicos. Estos pasos se parecen mucho a los que se explicaron en el capítulo 13, “Pronósticos”.



Paso 1: empiece a “transferir” el plan al nuevo horizonte de planificación. Comience el trabajo preliminar en cuanto termine el mes. Actualice los archivos con los datos reales de ventas, producción, inventario, costos y restricciones.

Paso 2: participe en la elaboración de pronósticos y planificación de la demanda para crear los pronósticos de demanda autorizados. En el caso de proveedores de servicios, los pronósticos se refieren a las necesidades de personal en cada grupo de fuerza de trabajo. Por ejemplo, la directora de enfermeras en un hospital puede crear un índice de carga de trabajo para el personal de

enfermería y traducir una proyección de la carga mensual de pacientes en una cantidad total equivalente al tiempo de atención de las enfermeras, y por ende, al número de enfermeras que se requieren cada mes del año.

Paso 3: actualice la hoja de cálculo del plan de ventas y operaciones por cada familia, tomando en cuenta las restricciones y costos pertinentes, entre otros, la disponibilidad de los materiales de los proveedores, instalaciones de capacitación capaces de atender sólo un número limitado de empleados de nuevo ingreso a la vez, capacidad de la maquinaria o espacio de almacenamiento limitado. Las restricciones de política podrían incluir las limitaciones impuestas al número permisible de pedidos atrasados, o el uso de subcontratistas o tiempo extra, así como los niveles mínimos de inventario que se necesitan para crear los inventarios de seguridad deseados. Normalmente, muchos planes pueden satisfacer un conjunto específico de restricciones. El planificador busca el plan que mejor equilibre los costos, el servicio al cliente, la estabilidad de la fuerza de trabajo y otras cosas por el estilo. Este proceso puede exigir que el plan se revise varias veces.

Paso 4: celebre una o más reuniones con todos los interesados para llegar a un consenso respecto a cómo se puede equilibrar la mejor la oferta y la demanda. Entre los participantes podría figurar el gerente de la cadena de suministro, el gerente de la planta, el contralor y los gerentes de compras, control de producción y logística. La meta es contar con un grupo de recomendaciones para presentarlo en la reunión ejecutiva de planificación de ventas y operaciones de la empresa. Cuando no sea posible llegar a un acuerdo, prepare escenarios de planes alternativos. Además, prepare una visión financiera actualizada de la empresa, integrando los planes de todas las familias de productos en una hoja de cálculo, expresada en totales monetarios.

Paso 5: presente las recomendaciones por familia de productos en la reunión ejecutiva de planificación de ventas y operaciones, en la cual participan habitualmente el presidente de la empresa y los vicepresidentes de las áreas funcionales. El plan se revisa con respecto al plan de negocios, cuestiones relativas a los nuevos productos, proyectos especiales y otros factores pertinentes. Los ejecutivos pueden solicitar que se realicen cambios finales en el plan con el propósito de equilibrar mejor los objetivos antagónicos. La aceptación de este plan autorizado no necesariamente significa que existe acuerdo total por parte de todos los interesados; lo que implica es que todos se esforzarán para convertir el plan en realidad.

Paso 6: actualice las hojas de cálculo para que reflejen el plan autorizado, y comunique los planes a los interesados importantes para su implementación. Los destinatarios importantes incluyen a quienes planifican los recursos, tema que se aborda en el capítulo siguiente.

> HERRAMIENTAS DE APOYO PARA TOMAR DECISIONES <

El plan de ventas y operaciones que se presenta en la figura 14.3 no muestra demasiado sobre las alternativas reactivas que utilizaron en el plan de operaciones ni sus implicaciones en los costos. En seguida se estudiarán dos herramientas de apoyo para tomar decisiones que hacen precisamente eso: las hojas de cálculo y el método de transporte. Ambas técnicas pueden usarse como auxiliares, mientras el planificador traza los planes potenciales en el paso 3 del proceso de planificación.

HOJAS DE CÁLCULO

Se pueden usar varias hojas de cálculo, incluidas las que usted elabore por su cuenta. Aquí se trabajará con el *solver de planificación de ventas y operaciones con hojas de cálculo* que viene incluido en OM Explorer. La figura 14.4 muestra un plan para un fabricante que usa todas las alternativas reactivas, salvo el tiempo extra.

Hojas de cálculo para un fabricante La parte superior de la hoja de cálculo (en amarillo) muestra los *valores de entrada* que corresponden a los requisitos de la demanda pronosticada y las alternativas reactivas, periodo por periodo. Modifique estas “palancas” para buscar planes mejores.

La siguiente parte de la hoja de cálculo (en verde) muestra los *valores derivados* que son consecuencia de los valores de entrada. La primera fila de valores derivados se llama *tiempo productivo,* que es la parte del tiempo regular de la fuerza de trabajo que se paga y se usa productivamente. En cualquier periodo dado, el tiempo productivo es igual al nivel de la fuerza de trabajo menos el tiempo improductivo y el tiempo de vacaciones. Por ejemplo, en el periodo 1, el tiempo productivo equivale a 94 (es decir, 120 – 6- 20). Las filas correspondientes a las contrataciones y despidos pueden derivarse de los niveles de la fuerza de trabajo. En este ejemplo, la fuerza de trabajo aumenta en el periodo 2 de su tamaño inicial de 120 empleados a 158, lo que significa que se contrataron 38 empleados. Debido a que el tamaño de la fuerza de trabajo permanece constante durante todo el horizonte de planificación, no ocurre ninguna otra contratación o despido. En ocasiones, el tiempo extra y el tiempo improductivo pueden derivarse directamente de las primeras dos filas de valores de entrada. Cuando el nivel de la fuerza de trabajo en un periodo rebasa la demanda pronosticada, el tiempo extra es cero y el tiempo improductivo es igual a la diferencia. Cuando el nivel de la fuerza de trabajo en un periodo es menor que la demanda pronosticada, el

RETO ADMINISTRATIVO

PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES EN STARWOOD



Los viajes de negocios a menudo implican pasar la noche en un hotel. Al llegar, es posible que lo reciba un portero o valet para ayudarle con su equipaje. El personal de la recepción lo espera para que se registre. Detrás de bastidores, el personal de limpieza, mantenimiento y cocina se prepara para su estancia. Cuando usted hace una reservación, da aviso al hotel de su plan de hospedarse ahí, pero aún antes de que siquiera imagine su viaje, el hotel ya está preparado y cuenta con el personal necesario para atenderlo. ¿Cómo? Mediante un proceso llamado *planificación de ventas y operaciones*.

La planificación de ventas y operaciones es un proceso que toda organización lleva a cabo en una u otra medida. El plan, que se conoce como plan de personal (o plan de recursos de servicio, si es más detallado) en las organizaciones de servicio, debe encontrar el nivel adecuado de servicio al cliente y, al mismo tiempo, mantener la estabilidad de la fuerza de trabajo y el control de los costos para lograr las utilidades esperadas por la organización. ¿Por dónde comienzan las compañías? Echemos un vistazo a Starwood Hotels and Resorts para ver cómo se hace.

Starwood opera más de 750 establecimientos en todo el mundo. En los niveles más altos, Starwood lleva a cabo la planificación de ventas y operaciones anualmente, y los ajustes necesarios se realizan cada mes por región y por hotel. Los ingresos presupuestados y otras proyecciones vienen de las oficinas centrales; las regiones y cada hotel en lo individual desglosan los pronósticos para satisfacer sus niveles de ocupación esperados. Típicamente, el director de recursos humanos determina la mezcla de personal que se necesita en todas las divisiones, como el servicio de alimentos y bebidas, habitaciones (incluye limpieza, spa, servicios a huéspedes), ingeniería, programa de calidad Six Sigma, administración de ingresos y contabilidad.

En cada hotel, los gerentes generales y su personal deben proporcionar datos para el plan del año próximo, al tiempo que implementan y monitorean la actividad del año en curso. En la mayoría de los hoteles, la nómina representa casi 40% de los ingresos presupuestados y constituye el gasto más grande en que el hotel incurre. También es el gasto más controlable. Muchos de los hoteles y la mayoría de los centros turísticos tienen patrones de estacionalidad que afectan la demanda de habitaciones y servicios. A su vez, esta estacionalidad afecta considerablemente el plan de personal de la organización.

Para determinar los niveles de personal, la compañía usa un programa de software patentado que modela la demanda de ocupación con base en datos históricos. Las principales directrices del personal son las habitaciones ocupadas y las comidas de los restaurantes, que se conocen como "cubiertos". Starwood conoce, *por habitación y por cubierto*, cuánto personal necesita para funcionar de la manera debida. Cuando se introducen los datos de la ocupación y los cubiertos en el programa informático, el resultado es un modelo del nivel de personal recomendado para cada división. En seguida, los gerentes de división revisan esta recomendación y la ajustan, si es necesario, para asegurarse de que el personal vaya de acuerdo con los planes financieros presupuestados. Varias veces al año se celebran ferias del empleo para reclutar personal no ejecutivo y contar con una reserva de candidatos calificados, tanto de trabajadores de tiempo parcial como de tiempo completo, que esté lista cuando se le necesite. La mayoría de los hoteles mantienen una reserva de trabajadores de tiempo parcial que pueden cumplir o ampliar las horas de trabajo, si los niveles de huéspedes de hotel así lo requieren. Las vacaciones de la gerencia se programan para la temporada baja. Se trabaja tiempo extra si es necesario, pero esta opción es menos deseable que programar el nivel apropiado de personal en cada división.

El programa también toma en cuenta tanto la complejidad como la posición del hotel dentro de la organización de Starwood. Por ejemplo, un hotel citadino con 400 habitaciones, que en esencia es un edificio alto, no es tan complejo como un centro turístico disperso con campo de golf, spa, centro de convenciones y otros servicios que el hotel de la ciudad no ofrece. La posición también es importante. Las expectativas de servicio al cliente en un hotel de cinco estrellas son mucho más altas que las de un hotel de tres estrellas en un aeropuerto, y requieren proporciones mucho mayores de personal a huéspedes. Por último, si el hotel es nuevo, se utilizan datos históricos de hoteles parecidos para modelar el personal para los primeros dos años de operación.



Un programa de software que genera un modelo de ocupación con base en datos históricos ayuda a Starwood a mantener niveles adecuados de personal en sus hoteles. Los gerentes conocen, por habitación y por cubierto, cuántos empleados deben programarse para que los huéspedes reciban una buena atención.

Starwood intenta modificar la demanda y atenuar los picos y valles de los patrones de demanda. Muchos de los hoteles de la compañía tienen tres estaciones: alta, media (llamada "shoulder") y baja. Starwood, al igual que sus competidores, ofrece tarifas especiales, paquetes familiares y ofertas especiales de fin de semana para atraer a diferentes segmentos del mercado durante los periodos de menor movimiento. El personal recibe capacitación en varias disciplinas para poder trabajar en diferentes áreas, como la recepción y el mostrador del conserje, para que no haya necesidad de añadir personal en las distintas temporadas. Los empleados también pueden ser trasladados temporalmente a otros hoteles de Starwood para que presten ayuda durante los periodos pico. Por ejemplo, cuando se pronostica que la ocupación alcanzará niveles altos en una región del país, se asigna personal de las áreas que están entrando en temporada baja para que cubra la demanda.

Preguntas

1. ¿En qué puntos del proceso de planificación esperaría usted que intervinieran las áreas de contabilidad y finanzas, marketing, sistemas de información y operaciones?
2. ¿Starwood emplea una estrategia de persecución, nivel de utilización, nivel de inventario o mixta? ¿Por qué este método es la mejor opción para la compañía?
3. ¿En qué diferiría el personal para la inauguración de un nuevo hotel o centro turístico del personal de otro hotel existente? ¿En qué datos podría basarse Starwood para asegurar de no contratar mucho o poco personal en su primer año de operaciones?

FIGURA 14.4

Plan de un fabricante que usa una hoja de cálculo y una estrategia mixta

	1	2	3	4	5	6	Total
Valores de Entrada							
Demanda pronosticada	24	142	220	180	136	168	870
Nivel de la fuerza de trabajo	120	158	158	158	158	158	910
Tiempo improductivo	6	0	0	0	0	0	6
Tiempo extra	0	0	0	0	0	0	0
Tiempo de vacaciones	20	6	0	0	4	10	40
Tiempo de subcontratación	0	0	0	0	0	6	6
Pedidos atrasados	0	0	0	4	0	0	4
Valores derivados							
Tiempo productivo	94	152	158	158	154	148	864
Inventario	70	80	18	0	14	0	182
Contrataciones	0	38	0	0	0	0	38
Despidos	0	0	0	0	0	0	0
Costos calculados							
Tiempo productivo	$376,000	$608,000	$632,000	$632,000	$616,000	$592,000	$3,456,000
Tiempo improductivo	$24,000	$0	$0	$0	$0	$0	$24,000
Tiempo extra	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Tiempo de vacaciones	$80,000	$24,000	$0	$0	$16,000	$40,000	$160,000
Inventario	$2,800	$3,200	$720	$0	$560	$0	$7,280
Pedidos atrasados	$0	$0	$0	$4,000	$0	$0	$4,000
Contrataciones	$0	$91,200	$0	$0	$0	$0	$91,200
Despidos	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Subcontratación	$0	$0	$0	$0	$0	$43,200	$43,200
Costo total	$482,800	726,400	632,720	636,000	632,560	675,200	$3,785,680

tiempo improductivo es cero y el tiempo extra es igual a la diferencia. En general, cuando todas las alternativas adicionales (por ejemplo, vacaciones, inventario y pedidos atrasados) son posibles, el tiempo extra y el tiempo improductivo no pueden derivarse sólo de la información sobre la demanda pronosticada y los niveles de la fuerza de trabajo. Por tanto, el tiempo improductivo y el tiempo extra se muestran como valores de entrada (y no como valores derivados) en la hoja de cálculo, y el usuario debe tener cuidado de especificar valores de entrada consistentes.

La parte final de la hoja de cálculo, los *valores calculados* del plan, muestra las consecuencias del plan en los costos. Junto con diversas consideraciones cualitativas, el costo de cada plan determina si éste es satisfactorio o si se deberá considerar la posibilidad de crear un plan revisado. Para buscar indicios de cómo mejorar un plan que ya ha sido evaluado con anterioridad, se identifica el elemento que representa el costo más alto. Las revisiones que reducen estos costos específicos pueden producir un nuevo plan con costos más bajos en general. Los programas de hoja de cálculo facilitan el análisis de estos planes y ofrecen toda una serie de nuevas posibilidades para elaborar planes de ventas y operaciones bien fundamentados.

El plan de la figura 14.4 definitivamente es para un fabricante porque usa el inventario en su beneficio, en particular en los primeros dos periodos. Resulta evidente que se trata de una estrategia mixta. El nivel de la fuerza de trabajo cambia en el periodo 2, pero no coincide exactamente con la demanda pronosticada como ocurre con una estrategia de persecución. Tiene algunos elementos de la estrategia al nivel de utilización, porque el tiempo improductivo y el tiempo de vacaciones forman parte del plan, pero no se basa exclusivamente en esta estrategia. Por último, tiene algunos elementos de la estrategia al nivel de inventario y se usan los pedidos atrasados, pero la fuerza de trabajo no es igual. Finalmente, cierto uso de subcontrataciones también coloca a este plan dentro de la categoría de estrategia mixta.

Es necesario tener cuidado para reconocer las diferencias en cómo se miden los valores de entrada. El nivel de la fuerza de trabajo podría expresarse como el número de empleados, pero la demanda pronosticada y el inventario están expresados como unidades del producto. Las hojas de cálculo de OM Explorer requieren una unidad común de medición, por lo que es preciso traducir algunos de los datos antes de introducir los valores de entrada. Tal vez el método más fácil consiste en expresar la demanda pronosticada y las alternativas reactivas como *equivalentes empleado-periodo*. Si los pronósticos de la demanda se proporcionan como unidades de producto, éstas pueden convertirse en equivalentes de empleado-periodo dividiéndolas entre la productividad de un trabajador. Por ejemplo, si la demanda es de 1,500 unidades de producto y el empleado típico produce 100 unidades en un periodo, el requisito de demanda es de 15 equivalentes empleado-periodo.

Hojas de cálculo para un proveedor de servicios Los proveedores de servicios pueden usar las mismas hojas de cálculo, salvo que éstos no tienen la opción de formar un inventario de previsión. Mientras que la figura 14.4 muestra un buen plan que se definió luego de varias revisiones, en el ejemplo 14.1 se ilustra cómo buscar un buen plan para un proveedor de servicios a partir de dos estrategias puras: la de persecución y la estrategia al nivel de utilización. Estos métodos ayudan a comprender cómo se pueden combinar mejor las estrategias para trazar un plan.

Uso de la estrategia de persecución y la estrategia al nivel de utilización como puntos de partida

EJEMPLO **14.1**

La gerente de un gran centro de distribución tiene que determinar cuántos empleados de tiempo parcial debe mantener en la nómina. Ella desea desarrollar un plan de personal que reduzca al mínimo los costos totales, y quiere comenzar con la estrategia de persecución y la estrategia al nivel de utilización. Para la estrategia al nivel de utilización, la gerente desea probar primero el nivel de la fuerza de trabajo que satisface la demanda con el uso mínimo de tiempo improductivo.

En primer lugar, la gerente divide el año siguiente en seis periodos, cada uno de dos meses de duración. Cada empleado de tiempo parcial trabaja un máximo de 20 horas por semana en tiempo regular, pero el número real de horas trabajadas puede ser menor. En lugar de pagar tiempo improductivo, la jornada de cada trabajador se reduce durante los periodos de poco movimiento. Una vez incluido en la nómina de pago, se emplea a cada trabajador todos los días, pero es posible que éste sólo trabaje unas cuantas horas. El tiempo extra puede usarse en los periodos pico.

La demanda pronosticada del centro de distribución se expresa como el número de empleados de tiempo parcial que se requieren en cada periodo, dentro del tiempo regular máximo de 20 horas por semana. Por ejemplo, en el periodo 3, se estima que se requerirán 18 empleados de tiempo parcial, que deberán trabajar 20 horas por semana dentro del tiempo regular.



MODELO ACTIVO 14.1

El modelo activo 14.1 en el CD-ROM del estudiante muestra el impacto que produce cambiar el nivel de la fuerza de trabajo, la estructura de costos y la capacidad de tiempo extra.

	Periodo						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Total**
Demanda pronosticada*	6	12	18	15	13	14	78

*Número de empleados de tiempo parcial

Actualmente, la empresa cuenta con 10 empleados de tiempo parcial, que no han sido sustraídos de la demanda pronosticada que se indica en la tabla. La información sobre las restricciones y costos se presenta a continuación:

a. Las dimensiones de las instalaciones de capacitación limitan a no más de 10 el número de nuevos empleados que es posible contratar en cualquier periodo.

b. No se permite ningún pedido atrasado; en cada periodo se debe satisfacer toda la demanda.

c. El tiempo extra no puede ser superior al 20% de la capacidad del tiempo regular (es decir, 4 horas) en ningún periodo. Por lo tanto, lo más que puede trabajar cualquier empleado de tiempo parcial es 1.20(20) = 24 horas por semana.

d. Se pueden asignar los siguientes costos:

Tarifa salarial en tiempo regular	$2,000 por periodo a 20 horas por semana
Salarios por tiempo extra	150% de la tarifa del tiempo regular
Contrataciones	$1,000 por persona
Despidos	$500 por personan



Rodeado de miles de bastones para esquiar, un trabajador de tiempo parcial clasifica e inventaría los productos nuevos en el departamento de recepción del centro de distribución de REI en Summer, Washington. REI emplea un alto porcentaje de trabajadores de tiempo parcial, muchos de los cuales son estudiantes universitarios. Por lo general, se trata de jóvenes que practican deportes al aire libre y están familiarizados con el equipo que REI vende.

FIGURA 14.5

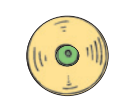
Hoja de cálculo para la estrategia de persecución

	1	2	3	4	5	6	Total
Valores de Entrada							
Demanda pronosticada	6	12	18	15	13	14	78
Nivel de la fuerza de trabajo	6	12	18	15	13	14	78
Tiempo improductivo	0	0	0	0	0	0	0
Tiempo extra	0	0	0	0	0	0	0
Valores derivados							
Tiempo productivo	6	12	18	15	13	14	78
Contrataciones	0	6	6	0	0	1	13
Despidos	4	0	0	3	2	0	9
Costos calculados							
Tiempo productivo	$12,000	$24,000	$36,000	$30,000	$26,000	$28,000	$156,000
Tiempo improductivo	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Contrataciones	$0	$6,000	$6,000	$0	$0	$1,000	$13,000
Despidos	$2,000	$0	$0	$1,500	$1,000	$0	$4,500
Costo total	$14,000	30,000	42,000	31,500	27,000	29,000	$173,500

SOLUCIÓN

a. Estrategia de persecución

Esta estrategia requiere simplemente ajustar la fuerza de trabajo según sea necesario para satisfacer la demanda, como se muestra en la figura 14.5. Las filas de la hoja de cálculo que no son aplicables (como el inventario y las vacaciones) están ocultas. La fila del nivel de la fuerza de trabajo es idéntica a la fila de la demanda pronosticada. Una gran cantidad de contrataciones y despidos comienzan con el despido inmediato de 4 empleados de tiempo parcial porque el personal actual está compuesto por 10 personas y el nivel de personal requerido en el periodo 1 es de sólo 6. Sin embargo, muchos empleados, como los estudiantes universitarios, prefieren trabajar tiempo parcial. El costo total es de $173,500, y la mayor parte del aumento en los costos se debe a las frecuentes contrataciones y despidos, que suman $17,500 al costo del tiempo productivo en tiempo regular.



TUTOR 14.1

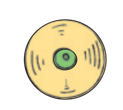
El tutor 14.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para elaborar un plan usando la estrategia de persecución con contrataciones y despidos.

b. Estrategia al nivel de utilización

Con el propósito de reducir al mínimo el tiempo improductivo, el uso máximo de tiempo extra posible debe ocurrir en el periodo pico. Para esta estrategia al nivel de utilización en particular, el máximo tiempo que puede utilizar la gerente es 20% de la capacidad del tiempo regular, w, por lo cual:

$$1.20w = 18 \text{ empleados requeridos en el periodo pico (periodo 3)}$$

$$w = \frac{18}{1.20} = 15 \text{ empleados}$$



TUTOR 14.2

El tutor 14.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para elaborar un plan usando la estrategia al nivel de utilización con tiempo extra y tiempo improductivo.

Cuando la cantidad total de personal es de 15 empleados la cantidad de tiempo improductivo se minimiza en esta estrategia de nivel. Como el personal ya incluye 10 empleados de tiempo parcial, la gerente deberá contratar de inmediato 5 más. El plan completo se muestra en la figura 14.6. El costo total es de $164,000, suma que parece razonable porque el costo mínimo posible es de sólo $156,000 (78 periodos × $2,000/periodo). Este costo

FIGURA 14.6

Hoja de cálculo para la estrategia al nivel de utilización con tiempo extra y un mínimo de tiempo improductivo

	1	2	3	4	5	6	Total
Valores de Entrada							
Demanda pronosticada	6	12	18	15	13	14	78
Nivel de la fuerza de trabajo	15	15	15	15	15	15	90
Tiempo improductivo	9	3	0	0	2	1	15
Tiempo extra	0	0	3	0	0	0	3
Valores derivados							
Tiempo productivo	6	12	15	15	13	14	75
Contrataciones	5	0	0	0	0	0	5
Despidos	0	0	0	0	0	0	0
Costos calculados							
Tiempo productivo	$12,000	$24,000	$30,000	$30,000	$26,000	$28,000	$150,000
Tiempo improductivo	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Tiempo extra	$0	$0	$9,000	$0	$0	$0	$9,000
Contrataciones	$5,000	$0	$0	$0	$0	$0	$5,000
Despidos	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
Costo total	$17,000	24,000	39,000	30,000	26,000	28,000	$164,000

se lograría sólo si la gerente encontrara la manera de cubrir la demanda pronosticada para los 78 periodos en su totalidad con tiempo regular. El plan parece razonable sobre todo porque requiere el uso de grandes cantidades de tiempo improductivo (15 periodos), el cual, en este ejemplo, no se paga.

Punto de decisión La gerente, que ahora tiene un punto de referencia con el cual comparar otros planes, ha decidido evaluar algunos otros planes antes de tomar una decisión definitiva, comenzando con la estrategia de persecución. La única forma de reducir los costos es reducir de alguna manera la prima por 3 periodos de tiempo extra de los empleados (3 periodos × \$3,000/periodo) o reducir el costo de contratación de 5 empleados (5 contrataciones × \$1,000/persona). No obstante, es posible que existan mejores soluciones. Por ejemplo, el tiempo improductivo puede reducirse si las contrataciones se retrasan hasta el periodo 2 porque la actual fuerza de trabajo es suficiente hasta entonces. Este retraso disminuiría la cantidad de tiempo improductivo sin goce de sueldo, lo que constituye una mejora cualitativa. Consulte otras ideas en el modelo activo 14.1.

EL MÉTODO DE TRANSPORTE

La principal ventaja del método de la hoja de cálculo es su simplicidad. Sin embargo, el planificador aún tiene que tomar muchas decisiones para cada periodo del horizonte de planificación con el propósito de elaborar el mejor plan posible. Las repercusiones que el plan elegido tiene en los costos son considerables, por lo que el análisis debe ser cuidadoso y bien pensado. Varios métodos matemáticos pueden ser útiles en este proceso de búsqueda. La programación lineal es especialmente eficaz porque puede incluir todas las alternativas reactivas, incluidas las variables de decisión relativas a las contrataciones y despidos. Para aprender más sobre su uso, consulte la lección que se incluye en el CD-ROM del estudiante.

En esta sección se presenta y demuestra el **método de transporte para la planificación de la producción**, que es un caso especial de programación lineal. Se aplicó con anterioridad para decidir la localización de una instalación dentro de una red de instalaciones. Cuando se aplica a la planificación de ventas y operaciones, el método de transporte es particularmente útil para el cálculo de inventarios de previsión. Así pues, se relaciona más con los planes de producción de las plantas manufactureras que con los planes de personal de los proveedores de servicios. De hecho, los niveles de la fuerza de trabajo para cada periodo son valores de entrada en el método de transporte, más que resultados producidos. Es necesario evaluar diferentes planes para el ajuste de la fuerza de trabajo. De este modo, es posible obtener varias soluciones por el método de transporte antes de seleccionar un plan definitivo.

método de transporte para la planificación de la producción

El uso del método de transporte para resolver problemas de planificación de producción, suponiendo que se dispone de un pronóstico de la demanda para cada uno de los periodos y también de un posible plan para ajustar la fuerza de trabajo.

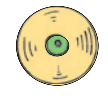
El uso del método de transporte para planificar la producción se basa en la suposición de que se dispone de un pronóstico de la demanda para cada uno de los periodos y también de un posible plan para ajustar la fuerza de trabajo. También es necesario conocer los límites de capacidad en términos de tiempo extra y uso de subcontratistas para cada periodo. Otra suposición es que todos los costos están relacionados linealmente con la cantidad de bienes producidos; es decir que un cambio en el volumen de esos bienes genera un cambio proporcional en los costos.

Para elaborar un plan de ventas y operaciones para una empresa manufactura, haga lo siguiente:

1. Obtenga los pronósticos de la demanda para cada periodo que abarcará el plan de ventas y operaciones e identifique el nivel inicial de inventario actualmente disponible que puede utilizarse para satisfacer la demanda futura.
2. Seleccione un posible plan de ajuste de la fuerza de trabajo, usando una estrategia de persecución, una estrategia al nivel de utilización, una estrategia al nivel de inventario o una estrategia mixta. Especifique los límites de capacidad de cada alternativa de producción (tiempo regular, tiempo extra y subcontratación) para cada periodo cubierto por el plan.
3. Estime el costo por mantenimiento de inventario y el costo de las posibles alternativas de producción (producción en tiempo regular, producción en tiempo extra, y subcontratación).
4. Introduzca la información recabada en los pasos 1-3 en una rutina computarizada que resuelva el problema de transporte. Después de obtener la solución, calcule los niveles del inventario de previsión e identifique los elementos del plan que tienen los costos más elevados.
5. Repita el proceso con otros planes de capacidad de tiempo regular, tiempo extra y subcontratación hasta que encuentre la solución que mejor equilibre los costos y las consideraciones cualitativas. Aun cuando este proceso es por tanteo (prueba y error), el método de transporte produce la mejor combinación de tiempo regular, tiempo extra y subcontratación para cada plan de capacidad.

El ejemplo 14.3 demuestra este método usando el paquete POMS para Windows. También se puede usar el *solver* del método de transporte para la planificación de la producción de OM Explorer.

EJEMPLO 14.2 Preparación de un plan de producción con el método de transporte



TUTOR OPT.2

El tutor OPT.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo de planificación de la producción con el método de transporte.

Tru-Rainbow Company produce diversos productos de pintura para uso comercial y privado. La demanda de pintura es altamente estacional y presenta un punto máximo en el tercer trimestre. El inventario actual es de 250,000 galones y el inventario final deberá ser de 300,000 galones.

El gerente de fabricación de Tru-Rainbow desea encontrar el mejor plan de producción, utilizando los requisitos de demanda y el plan de capacidad que se presentan a continuación. Las demandas y capacidades se expresan aquí en miles de galones (en lugar de hacerlo en equivalentes de empleado-periodo). El gerente sabe que el costo del tiempo regular es de $1.00 por unidad, el costo del tiempo extra es de $1.50 por unidad, el costo de subcontratación es de $1.90 por unidad y el costo por mantenimiento de inventario es de $0.30 por galón, por trimestre.

	Trimestre				
	1	**2**	**3**	**4**	**Total**
Demanda Capacidades	300	850	1,500	350	3,000
Tiempo regular	450	450	750	450	2,100
Tiempo extra	90	90	150	90	420
Subcontratación	200	200	200	200	800

En este caso son aplicables las siguientes restricciones:

a. El máximo permisible de tiempo extra en cualquier trimestre es el 20% de la capacidad de tiempo regular en dicho trimestre.

b. El subcontratista está en posibilidad de suministrar un máximo de 200,000 galones en cualquier trimestre. La producción se puede subcontratar en un periodo y el exceso se mantiene en inventario para que no haya desabasto en un periodo futuro.

c. No se permiten pedidos atrasados ni desabasto.

SOLUCIÓN

La figura 14.7 ilustra la pantalla de POMS para Windows que contiene los datos básicos de entrada. Se parece mucho a la tabla que se presentó arriba, pero con una excepción. La demanda del trimestre 4 es de 650,000 galones en lugar de la demanda pronosticada de sólo 350,000. Esta cifra mayor refleja el deseo del gerente de tener un inventario final en el trimestre 4 de 300,000 galones.

La figura 14.8 muestra una segunda pantalla que muestra cómo los datos de entrada se traducen en una tabla, llamada tableau de transporte. Es similar a la figura 11.11 en el capítulo 11, "Localización", salvo que ahora se usa para planificar las ventas y operaciones en lugar de la localización.

Algunos puntos que cabe destacar son los siguientes:

1. Una fila para cada alternativa de suministro (en lugar de los "orígenes" o plantas de la figura 11.12), trimestre por trimestre, indica la cantidad máxima que puede usarse para satisfacer la demanda. La primera fila es el inventario inicial disponible, y las filas que siguen corresponden al tiempo regular, tiempo extra y producción subcontratada en cada uno de los cuatro trimestres. El inventario inicial puede usarse para satisfacer la demanda en cual-

FIGURA 14.7

Datos de entrada para el posible plan de producción de Tru-Rainbow Company

Periodo	Demanda	Capacidad de tiempo regular	Capacidad de tiempo extra	Capacidad de subcontratación		Costo unitario	Valor
Trimestre 1	300	450	90	200		Tiempo regular	1
Trimestre 2	850	450	90	200		Tiempo extra	1.5
Trimestre 3	1500	750	150	200		Subcontratación	1.9
Trimestre 4	650	450	90	200		Costo por mantenimiento de inventario	.3
						Costo de desabasto	No se permite
						Inventario inicial	250

	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Capacidad
Inventario inicial	0	.3	.6	.9	250
Trimestre 1 Horario reg.	1	1.3	1.6	1.9	450
Trimestre 1 Tiempo extra	1.5	1.8	2.1	2.4	90
Trimestre 1 Subcontratación	1.9	2.2	2.5	2.8	200
Trimestre 2 Horario reg.	9999	1	1.3	1.6	450
Trimestre 2 Tiempo extra	9999	1.5	1.8	2.1	90
Trimestre 2 Subcontratación	9999	1.9	2.2	2.5	200
Trimestre 3 Horario reg.	9999	9999	1	1.3	750
Trimestre 3 Tiempo extra	9999	9999	1.5	1.8	150
Trimestre 3 Subcontratación	9999	9999	1.9	2.2	200
Trimestre 4 Horario reg.	9999	9999	9999	1	450
Trimestre 4 Tiempo extra	9999	9999	9999	1.5	90
Trimestre 4 Subcontratación	9999	9999	9999	1.9	200
Demanda	300	850	1500	650	270

FIGURA 14.8

Tableau de transporte para Tru-Rainbow Company

quiera de los cuatro trimestres. La segunda fila (producción en tiempo regular en el periodo 1) también puede usarse para satisfacer la demanda en cualquiera de los cuatro periodos que abarcará el plan, y así sucesivamente. Las cifras de la última columna indican la máxima capacidad disponible para las alternativas de suministro. Por ejemplo, la capacidad de tiempo regular en el trimestre 3 aumenta de los 450,000 galones de costumbre a 750,000 galones, para contribuir a satisfacer la demanda pico pronosticada en 1,500,000 galones.

2. Una columna indica cada trimestre futuro de la demanda (en lugar de los "destinos" o almacenes de la figura 11.12). Por ejemplo, la demanda del cuarto trimestre es de 650 unidades, lo que incluye la cantidad deseada de inventario final. La cifra en la última fila de esta columna de capacidad (270 unidades) tiene un significado especial. Se trata de la cantidad en que la capacidad total supera la demanda total.

3. Las cifras en las otras celdas (excluyendo las celdas de la última fila o la última columna) muestran el costo de producir una unidad en un periodo y, en algunos casos, el costo de mantener la unidad en inventario para venderla en un periodo futuro. Estas cifras corresponden a los costos en la esquina superior derecha de las celdas de la figura 11.12. Por ejemplo, el costo por unidad de la producción en tiempo regular en el trimestre 1 es de $1.00 por galón si se usa para satisfacer la demanda del trimestre 1. Este costo se encuentra en la fila 2 y la columna 1 del tableau. Sin embargo, si se produce para satisfacer la demanda del trimestre 2, el costo aumenta a $1.30 (o $1.00 + $0.30) porque es preciso mantener la unidad en inventario durante un trimestre. Satisfacer una unidad de demanda en el trimestre 3 produciéndola en trimestre 1 en tiempo regular y manteniendo la unidad en inventario durante dos trimestres cuesta $1.60, o [$1.00 + (2 × $0.30)], y así sucesivamente. Se usa un método semejante para los costos de tiempo extra y subcontratación.

4. Las celdas en la parte inferior izquierda del tableau con un costo de $9,999 se asocian con pedidos atrasados (o producir en un periodo para satisfacer la demanda de un periodo anterior). Aquí no se permiten los pedidos atrasados porque el costo de cada pedido atrasado es una cifra arbitraria muy grande, en este caso $9,999 por unidad. Si los costos de los pedidos atrasados son tan elevados, el método de transporte tratará de evitarlos porque lo que se busca es una solución que minimice el costo total. Si eso no es posible, se aumenta el plan de personal y las capacidades de tiempo extra y subcontratación.

5. Las alternativas menos caras son aquellas en que la producción se produce y vende en el mismo periodo. Por ejemplo, el costo de la producción en tiempo extra en el trimestre 2 es de sólo $1.50 por galón si ésta se destina a satisfacer la demanda del trimestre 2 (fila 6, columna 2). El costo aumenta a $2.10 si se destina a satisfacer la demanda del trimestre 4. Sin embargo, no siempre se puede evitar las alternativas que crean inventario debido a las restricciones de capacidad.

6. Por último, el costo por mantenimiento de inventario por unidad correspondiente al inventario inicial en el periodo 1 es de 0 porque es una función de las decisiones anteriores de planificación de la producción.

La figura 14.9 muestra la pantalla de POMS para Windows que indica una solución óptima (este problema tiene más de una solución óptima) para este plan específico de ajuste de la fuerza de trabajo. Se parece a la figura 11.12 del capítulo 11, "Localización". Por ejemplo, la primera fila muestra que 230 unidades del inventario inicial se usan para contribuir a satisfacer la demanda del trimestre 1. Las restantes 20 unidades en la primera fila se destinan a satisfacer parte de la demanda del trimestre 3. La suma de las asignaciones de la fila 1 (230 + 0 + 20 + 0) no rebasa la capacidad máxima de 250, indicada en la columna derecha. Con el método de transporte, debe obtenerse este resultado con cada fila. El déficit es capacidad no utilizada.

Asimismo, la suma de las asignaciones de cada columna debe ser igual a la demanda total del trimestre. Por ejemplo, la demanda del trimestre 1 se satisface con 230 unidades del inventario inicial, 50 unidades de la producción

FIGURA 14.9

Pantalla de solución para el posible plan de producción de Tru-Rainbow Company

Costo óptimo = $4,010	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Capacidad
Inventario inicial	**230**		**20**		250
Trimestre 1 Horario reg.	**50**	**400**			450
Trimestre 1 Tiempo extra			**90**		90
Trimestre 1 Subcontratación	**20**				200
Trimestre 2 Horario reg.		**450**			450
Trimestre 2 Tiempo extra			**90**		90
Trimestre 2 Subcontratación			**200**		200
Trimestre 3 Horario reg.			**750**		750
Trimestre 3 Tiempo extra			**150**		150
Trimestre 3 Subcontratación			**200**		200
Trimestre 4 Horario reg.				**450**	450
Trimestre 4 Tiempo extra				**90**	90
Trimestre 4 Subcontratación				**110**	200
Demanda	300	850	1500	650	270

en tiempo regular del trimestre 1 y 20 unidades de producción subcontratada del trimestre 1. La suma estas cifras es igual a la demanda pronosticada de 300 unidades.

Siguiendo con la interpretación de la solución, la figura 14.9 se puede convertir en la siguiente tabla. Por ejemplo, la producción total en tiempo regular en el trimestre 1 es de 450,000 galones (50,000 galones para satisfacer la demanda del trimestre 1 y 400,000 galones para ayudar a satisfacer la demanda del trimestre 2).

El inventario de previsión mantenido al final de cada trimestre se obtiene en la última columna. Para cualquier trimestre, es el inventario inicial del trimestre más la producción total (producción en tiempo regular y tiempo extra, más subcontratación) menos la demanda. Por ejemplo, en el trimestre 1 el inventario inicial (250,000) más el total de producción y subcontratación (560,000) menos la demanda del trimestre 1 (300,000) da por resultado un inventario final de 510,000, que también es el inventario inicial del trimestre 2.

Trimestre	Producción en tiempo regular	Producción en tiempo extra	Sub-contratación	Oferta total	Inventario de previsión
1	450	90	20	560	250 + 560 – 300 = 510
2	450	90	200	740	510 + 740 – 850 = 400
3	750	150	200	1,100	400 + 1,100 – 1,500 = 0
4	450	90	110	650	0 + 650 – 350 = 300
Totales	2,100	420	530	3,050	

Nota: El inventario de previsión es la cantidad que queda al final de cada trimestre, donde Inventario inicial + Producción total – Demanda real = Inventario final.

El desglose de los costos se obtiene multiplicando la asignación en cada celda de la figura 14.9 por el costo por unidad en esa celda de la figura 14.8. El cálculo de los costos columna por columna (también se puede hacen fila por fila) produce un costo total de $4,010,000, es decir, $4,010 × 1,000.

Cálculo de los costos por columna		
Trimestre 1	230($0) + 50($1.00) + 20($1.90)	= $ 88
Trimestre 2	400($1.30) + 450($1.00)	= 970
Trimestre 3	20($0.60) + 90($2.10) + 90($1.80) + 200($2.20) + 750($1.00) + 150($1.50) + 200($1.90)	= 2,158
Trimestre 4	450($1.00) + 90($1.50) + 110($1.90)	= 794
		Total = $4,010

Punto de decisión Este plan exige demasiado tiempo extra y subcontratación, y el costo del inventario de previsión es considerable. El gerente ha decidido buscar un mejor plan de capacidad (con incrementos en la fuerza de trabajo para aumentar la capacidad de producción en tiempo regular) que pueda reducir los costos de producción, quizá hasta un nivel que sea suficientemente bajo para compensar los costos de la capacidad añadida.

CONSIDERACIONES ADMINISTRATIVAS

Los modelos matemáticos y las técnicas analíticas son útiles para elaborar y evaluar planes sólidos de ventas y operaciones, pero en realidad no son más que auxiliares del proceso de planificación. Los gerentes, y no las técnicas, toman las decisiones. Después de llegar a un plan de producción aceptable, la gerencia, huelga decirlo, deberá ponerlo en práctica. Sin embargo, el plan de ventas y operaciones se expresa en términos agregados. Por lo tanto, el primer paso de la implementación consiste en desagregar el plan; es decir, dividirlo en productos, fechas y centros de trabajo específicos. Estos procesos se estudiarán en los próximos dos capítulos sobre planificación y programación de recursos.

CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

TÉRMINOS CLAVE

PROBLEMA RESUELTO 1

Cranston Telephone Company emplea trabajadores que realizan el tendido de cables telefónicos y otras tareas de construcción. La compañía se enorgullece de su buen servicio y se esfuerza por completar todos los pedidos de servicio en el mismo periodo de planificación en que se reciben.

Cada trabajador labora 600 horas de tiempo regular por periodo de planificación y puede trabajar hasta 100 horas más de tiempo extra en el transcurso de dicho periodo. El departamento de operaciones ha estimado las siguientes necesidades de personal para este tipo de servicios durante los próximos cuatro periodos de planificación.

Periodo de planificación	1	2	3	4
Demanda (horas)	21,000	18,000	30,000	12,000

Cranston paga salarios de tiempo regular a razón de $6,000 por empleado y por periodo, por cualquier tiempo que el empleado haya trabajado hasta un máximo de 600 horas (incluido el tiempo improductivo). La tarifa de pago por tiempo extra es de $15 por hora, a partir de 600 horas. La contratación, capacitación y equipamiento de un nuevo empleado cuesta $8,000. Los costos por concepto de despidos son de $2,000 por empleado. En la actualidad, 40 empleados trabajan para Cranston en esta capacidad. No se permiten retrasos en el servicio ni pedidos atrasados. Utilice el método de la hoja de cálculo para responder a las siguientes preguntas:

a. Prepare una estrategia de persecución en la cual se usen solamente contrataciones y despidos. ¿Cuál es la cifra total de empleados contratados y despedidos?



TUTOR 14.3

El tutor 14.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la planificación de ventas y operaciones con una variedad de estrategias.

FIGURA 14.10

Hoja de cálculo para la estrategia de persecución

	1	2	3	4	Total
Valores de Entrada					
Demanda pronosticada	35	30	50	20	135
Nivel de la fuerza de trabajo	35	30	50	20	135
Tiempo improductivo	0	0	0	0	0
Tiempo extra	0	0	0	0	0
Valores derivados					
Tiempo productivo	35	30	50	20	135
Contrataciones	0	0	20	0	20
Despidos	5	5	0	30	40
Costos calculados					
Tiempo productivo	$210,000	$180,000	$300,000	$120,000	$810,000
Tiempo improductivo	$0	$0	$0	$0	$0
Tiempo extra	$0	$0	$0	$0	$0
Contrataciones	$0	$0	$160,000	$0	$160,000
Despidos	$10,000	$10,000	$0	$60,000	$80,000
Costo total	$220,000	190,000	460,000	180,000	$1,050,000

b. Elabore un plan de fuerza de trabajo en el cual se use la estrategia al nivel de utilización. Maximice el uso del tiempo extra en el periodo pico para minimizar el nivel de la fuerza de trabajo y la cantidad de tiempo improductivo.

c. Proponga un plan eficaz de estrategia mixta.

d. Compare los costos totales de los tres planes.

SOLUCIÓN

a. La fuerza de trabajo correspondiente a la estrategia de persecución se calcula dividiendo la demanda de cada periodo entre 600 horas, o la cantidad de tiempo regular que trabaja un empleado durante un periodo. De acuerdo con esta estrategia, se requiere la contratación de un total de 20 trabajadores y el despido de otros 40 durante los cuatro periodos del plan. La figura 14.10 muestra la solución de la "estrategia de persecución" que produce el *solver* de planificación de ventas y operaciones con hojas de cálculo de OM Explorer. En este *solver* de propósito general simplemente se ocultan las columnas y filas que no se necesitan.

b. La demanda pico es de 30,000 horas durante el periodo 3. En vista de que cada empleado puede trabajar 700 horas por periodo (600 de tiempo regular y 100 de tiempo extra), el nivel de la fuerza de trabajo en la estrategia al nivel de utilización con el cual se minimiza el tiempo improductivo es de 30,000/700 = 42.86, o sea, 43 empleados. Esta estrategia al nivel de utilización requiere la contratación de tres empleados en el primer trimestre y que ningún trabajador sea despedido. Para convertir los requisitos de demanda en equivalente empleado-periodo, la demanda en horas se divide entre 600. Por ejemplo, la demanda de 21,000 horas del periodo 1 se traduce en 35 equivalentes empleado-periodo (21,000/600) y la demanda correspondiente al tercer periodo se traduce en 50 equivalentes empleado-periodo (30,000/600). La figura 14.11 muestra la hoja de cálculo de OM Explores para esta estrategia al nivel de utilización que minimiza el tiempo improductivo.

FIGURA 14.11

Hoja de cálculo para la estrategia al nivel de utilización

	1	2	3	4	Total
Valores de Entrada					
Demanda pronosticada	35	30	50	20	135
Nivel de la fuerza de trabajo	43	43	43	43	172
Tiempo improductivo	8	13	0	13	34
Tiempo extra	0	0	7	0	7
Valores derivados					
Tiempo productivo	35	30	43	30	138
Contrataciones	3	0	0	0	3
Despidos	0	0	0	0	0
Costos calculados					
Tiempo productivo	$210,000	$180,000	$258,000	$180,000	$828,000
Tiempo improductivo	$48,000	$78,000	$0	$78,000	$204,000
Tiempo extra	$0	$0	$63,000	$0	$63,000
Contrataciones	$24,000	$0	$0	$0	$24,000
Despidos	$0	$0	$0	$0	$0
Costo total	$282,000	258,000	321,000	258,000	$1,119,000

	1	2	3	4	Total
Valores de Entrada					
Demanda pronosticada	35	30	50	20	135
Nivel de la fuerza de trabajo	35	35	43	30	143
Tiempo improductivo	0	5	0	10	15
Tiempo extra	0	0	7	0	7
Valores derivados					
Tiempo productivo	35	30	43	20	128
Contrataciones	0	0	8	0	8
Despidos	5	0	0	13	18
Costos calculados					
Tiempo productivo	$210,000	$180,000	$258,000	$120,000	$768,000
Tiempo improductivo	$0	$30,000	$0	$60,000	$90,000
Tiempo extra	$0	$0	$63,000	$0	$63,000
Contrataciones	$0	$0	$64,000	$0	$64,000
Despidos	$10,000	$0	$0	$26,000	$36,000
Costo total	$220.000	210,000	385,000	206,000	$1,021,000

FIGURA 14.12

Hoja de cálculo para la estrategia mixta

c. En el plan para la estrategia mixta que aquí se propone se ha utilizado una combinación de contrataciones, despidos y tiempo extra para reducir los costos totales. La fuerza de trabajo se reduce en 5 personas al principio del primer periodo, se eleva en 8 en el tercer periodo y se reduce en 13 en el cuarto periodo. La figura 14.12 muestra los resultados.

d. El costo total de la estrategia de persecución es de $1,050,000. La estrategia al nivel de utilización produce como resultado un costo total de $1,119,000. El plan de estrategia mixta se desarrolló por tanteo (prueba y error) y resultó en un costo total de $1,021,000. Es posible introducir mejoras adicionales en esta estrategia mixta.

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Arctic Air Company fabrica aparatos de aire acondicionado residenciales. El gerente de fabricación quiere preparar un plan de ventas y operaciones para el año próximo, basándose en los siguientes datos de demanda y capacidad (expresados en cientos de unidades de producto).

	Periodo					
	Ene-Feb (1)	**Mar-Abr (2)**	**May-Jun (3)**	**Jul-Ago (4)**	**Sep-Oct (5)**	**Nov-Dic (6)**
Demanda	50	60	90	120	70	40
Capacidades						
Tiempo regular	65	65	65	80	80	65
Tiempo extra	13	13	13	16	16	13
Subcontratista	10	10	10	10	10	10

El tiempo improductivo no se paga y no hay costos asociados con la capacidad no utilizada en términos de tiempo extra o subcontratistas. La fabricación de una unidad de aire acondicionado en tiempo regular cuesta $1,000, incluidos $300 por concepto de mano de obra. Producir una unidad en tiempo extra cuesta $1,150. Un subcontratista produce una unidad, de acuerdo con las especificaciones de Arctic Air, por $1,250. El costo de mantener en inventario una unidad de aire acondicionado es de $60 por cada periodo de dos meses, y actualmente hay 200 unidades en inventario. El plan requiere la presencia de 400 unidades en inventario al final del periodo 6. No se permiten pedidos atrasados. Utilice el método de transporte para elaborar un plan que minimice los costos.

Periodo	Alternativas	Periodo 1	2	3	4	5	6	Capacidad no utilizada	Capacidad total
Periodo	Inventario inicial	0	60	120	180 (2)	240	300	0	2
1	Tiempo regular	1,000 (50)	1,060 (15)	1,120	1,180	1,240	1,300	0	65
1	Tiempo extra	1,150	1,210	1,270	1,330	1,390	1,450	13	13
1	Subcontratación	1,250	1,310	1,370	1,430	1,490	1,550	10	10
2	Tiempo regular	99,999	1,000 (41)	1,060 (12)	1,120 (12)	1,180	1,240	0	65
2	Tiempo extra	99,999	1,150 (4)	1,210	1,270	1,330	1,390	9	13
2	Subcontratación	99,999	1,250	1,310	1,370	1,430	1,490	10	10
3	Tiempo regular	99,999	99,999	1,000 (65)	1,060	1,120	1,180	0	65
3	Tiempo extra	99,999	99,999	1,150 (13)	1,210	1,270	1,330	0	13
3	Subcontratación	99,999	99,999	1,250	1,310	1,370	1,430	10	10
4	Tiempo regular	99,999	99,999	99,999	1,000 (80)	1,060	1,120	0	80
4	Tiempo extra	99,999	99,999	99,999	1,150 (16)	1,210	1,270	0	16
4	Subcontratación	99,999	99,999	99,999	1,250 (10)	1,310	1,370	0	10
5	Tiempo regular	99,999	99,999	99,999	99,999	1,000 (70)	1,060	10	80
5	Tiempo extra	99,999	99,999	99,999	99,999	1,150	1,210	16	16
5	Subcontratación	99,999	99,999	99,999	99,999	1,250	1,310	10	10
6	Tiempo regular	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	1,000 (44)	21	65
6	Tiempo extra	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	1,150	13	13
6	Subcontratación	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	1,250	10	10
	Demanda	50	60	90	120	70	44	132	566

FIGURA 14.13 | De los planes óptimos de producción e inventario.

SOLUCIÓN

Las tablas siguientes muestran los planes óptimos de producción e inventario. En la figura 14.13 se presenta el tableau correspondiente a esta solución. A los pedidos atrasados se les asignó un costo arbitrariamente alto ($99,999 por periodo), con lo cual éstos quedaron efectivamente descartados. También en este caso, todas las cantidades correspondientes a producción están expresadas en cientos de unidades. Observe que la demanda en el periodo 6 es de 4,400. Esa cantidad representa la demanda del periodo 6 más el inventario final deseado de 400 unidades. El inventario de previsión se mide como la cantidad restante al final de cada periodo. Los cálculos de costo se basan en la suposición de que a los trabajadores no se les pagan el tiempo improductivo, o que trabajan en forma productiva en otros lugares de la organización cuando no se requiere su participación en este trabajo.

Uno de los aspectos de esta solución que resulta desconcertante al principio es que el inventario inicial de 200 unidades se destina a satisfacer la demanda del periodo 4 en lugar de la del pe-

riodo 1. La explicación es que existen varias soluciones óptimas y ésta es sólo una de ellas. Sin embargo, todas las soluciones dan por resultado los mismos planes de producción y de inventario de previsión que se derivan en la siguiente página.

Plan de producción

Periodo	Producción en tiempo regular	Producción en tiempo extra	Subcontratación	Total
1	6,500	—	—	6,500
2	6,500	400	—	6,900
3	6,500	1,300	—	7,800
4	8,000	1,600	1,000	10,600
5	7,000	—	—	7,000
6	4,400	—	—	4,400

Inventario de previsión

Periodo	Inventario inicial más producción total menos demanda	Inventario de previsión (final)
1	200 + 6,500 − 5,000	1,700
2	1,700 + 6,900 − 6,000	2,600
3	2,600 + 7,800 − 9,000	1,400
4	1,400 + 10,600 − 12,000	0
5	0 + 7,000 − 7,000	0
6	0 + 4,400 − 4,000	400

PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN

1. Los métodos cuantitativos pueden ayudar a los gerentes a evaluar los planes de ventas y operaciones con base en el costo. Estos métodos requieren estimaciones de costos para cada una de las variables controlables, como tiempo extra, subcontratación, contrataciones, despidos e inversión en inventario. Suponga que la fuerza de trabajo existente está formada por 10,000 empleados de mano de obra directa, cada uno de los cuales posee habilidades que se han valuado en $40,000 por año. El plan requiere "la creación de oportunidades para emprender otras carreras"; en otras palabras, el despido de 500 empleados. Redacte una lista con los tipos de costos en que la empresa incurre cuando despide personal y elabore un cálculo aproximado de cuánto tiempo se requerirá para que los ahorros obtenidos en la nómina compensen los costos de reestructuración. Si se espera que los negocios mejoren en el transcurso de un año, ¿están justificados los despidos desde el punto de vista financiero? ¿Cuáles son los costos en que se incurre en un despido que son difíciles de estimar en términos monetarios?

2. En su comunidad, algunos empleadores mantienen a toda costa la estabilidad de su fuerza de trabajo, en tanto que otros suspenden temporalmente a sus trabajadores y luego los vuelven a llamar a la menor provocación. ¿Qué diferencias hay en términos de mercados, administración, productos, posición financiera, habilidades, costos y competencia que podrían explicar estos dos extremos en la política de personal?

3. Cuando mejoró la suerte de los tres grandes fabricantes de automóviles de Estados Unidos a mediados de los años 90, los obreros de una planta de GM se declararon en huelga. Esos trabajadores producían las transmisiones que se utilizaban en otras plantas de GM. Casi de inmediato, muchas otras plantas de GM tuvieron que cerrar por la falta de esas transmisiones. Ante el inminente riesgo de perder producción en un mercado muy activo, la dirección de GM no tardó en acceder a las demandas de los obreros, que exigían la recontratación de más trabajadores temporalmente cesados y la programación de una menor cantidad de tiempo extra. ¿Qué decisiones de planificación de la producción, relacionadas con las variables controlables (cuya lista aparece en la pregunta para discusión 1) resultan evidentes en esta situación?

PROBLEMAS

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuan-

do mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. La División Municipal de Mantenimiento de Carreteras de Barberton tiene a su cargo la reparación de los caminos de la ciudad de Barberton y la zona circundante. Cindy Kramer, la directora de mantenimiento de carreteras, tiene que presentar un plan de personal para el año siguiente, tomando como base un programa de reparaciones preestablecido y el presupuesto de la ciudad. Kramer estima que las horas de mano de obra necesarias para los cuatro trimestres próximos serán: 6,000, 12,000, 19,000 y 9,000, respectivamente. Cada uno de los 11 miembros de la fuerza de trabajo puede contribuir con 500 horas por trimestre. Los costos de nómina son de $6,000 en salarios por trabajador, por concepto de tiempo regular de trabajo hasta un máximo de 500 horas, con una tarifa de pago por tiempo extra de $18 por cada hora de tiempo extra. Éste deberá limitarse al 20% de la capacidad del tiempo regular en cualquier trimestre. A pesar de que la capacidad de tiempo extra no utilizada no tiene costo alguno, todo el tiempo regular no utilizado se paga a razón de $12 por hora. El costo que implica la contratación de un trabajador es de $3,000, y el costo por despedirlo es de $2,000. No se permite la subcontratación.
   a. Encuentre un plan al nivel de utilización de la fuerza de trabajo en el cual no se permitan retrasos en la reparación de carreteras y se minimicen el tiempo improductivo. El tiempo extra se puede usar, dentro de los límites establecidos, en cualquier trimestre. ¿Cuál es el costo total del plan y cuántas horas de tiempo improductivo requiere?
   b. Utilice una estrategia de persecución que permita modificar el nivel de la fuerza de trabajo sin tener que recurrir a tiempo extra ni a tiempo improductivo. ¿Cuál es el costo total de ese plan?
   c. Proponga su propio plan. Compárelo con los de las partes (a) y (b), y canalice sus méritos comparativos.

2. En el campo de golf de Bob Carlton se han calculado las siguientes necesidades de personal para ofrecer sus servicios en los dos próximos años.

Trimestre	1	2	3	4
Demanda (horas)	4,200	6,400	3,000	4,800
Trimestre	5	6	7	8
Demanda (horas)	4,400	6,240	3,600	4,800

   Cada uno de los instructores certificados trabaja 480 horas de tiempo regular por trimestre y, además, puede trabajar 120 horas de tiempo extra. El costo que paga Carlton por concepto de salarios y prestaciones en tiempo regular es de $7,200 por empleado, por trimestre, considerando un total de tiempo regular de trabajo de hasta 480 horas, con un costo de $20 por cada hora de tiempo extra. El tiempo regular no utilizado de los instructores certificados se paga a $15 por hora. No hay costo alguno por la capacidad de tiempo extra no utilizada. El costo de las contrataciones, capacitación y certificación de un nuevo empleado es de $10,000. Los costos de despido son de $4,000 por empleado. Actualmente ocho empleados trabajan en esta capacidad.
   a. Elabore un plan de fuerza de trabajo con la estrategia al nivel de utilización, en el cual no se permita ningún retraso en el servicio y se minimicen el tiempo improductivo. ¿Cuál es el costo total de este plan?
   b. Aplique una estrategia de persecución que permita modificar el nivel de la fuerza de trabajo sin tener que usar tiempo extra ni tiempo improductivo. ¿Cuál es el costo total de este plan?
   c. Proponga un plan de estrategia mixta, de bajo costo, y calcule el costo total.

3. Continuando con el problema 2, suponga ahora que Carlton tiene permitido emplear a algunos instructores no certificados de tiempo parcial, siempre que no los ocupe más del 15% del total de las horas que corresponden a la fuerza de trabajo en un trimestre cualquiera. Cada instructor de tiempo parcial puede trabajar hasta 240 horas por trimestre, sin costo alguno de tiempo extra o tiempo improductivo. Los costos de mano de obra de los instructores de tiempo parcial son de $12 por hora. Los costos de contratación y capacitación son de $2,000 por cada instructor no certificado, y no hay costos por los despidos.
   a. Proponga un plan de estrategia mixta, de bajo costo, y calcule el costo total.
   b. ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de contar con una fuerza de trabajo integrada por trabajadores regulares y temporales?

4. Donald Fertilizer Company produce fertilizantes químicos industriales. Los requisitos de fabricación proyectados (en miles de galones) para los cuatro trimestres próximos son de 80, 50, 80 y 130, respectivamente. Es preciso evitar el desabasto y los pedidos atrasados. Se desea desarrollar una estrategia de producción al nivel de inventario.
   a. Determine la tasa de producción trimestral necesaria para satisfacer la demanda total del año, sin recurrir a pedidos atrasados o desabasto. Use la estrategia al nivel de inventario que minimice el inventario de previsión que quedaría al final del año. El inventario inicial es de cero.
   b. Especifique los inventarios de previsión que se van a producir.
   c. Suponga que los requisitos para los cuatro trimestres próximos han sido revisados y serán de 80, 130, 50 y 80, respectivamente. Si la demanda total sigue siendo la misma, ¿qué nivel de tasa de producción se necesitará ahora, siguiendo la misma estrategia de la parte (a)?

5. La dirección de Davis Corporation ha establecido el siguiente programa de demanda (en unidades):

Mes	1	2	3	4
Demanda	500	800	1,000	1,400
Mes	5	6	7	8
Demanda	2,000	1,600	1,400	1,200
Mes	9	10	11	12
Demanda	1,000	2,400	3,000	1,000

   Un empleado es capaz de producir, en promedio, 10 unidades al mes. Cada trabajador incluido en la nómina cuesta $2,000 por concepto de salario mensual de tiempo regular. El tiempo improductivo se paga a la misma tarifa que el tiempo regular. De acuerdo con el contrato de trabajo vigente, Davis Corporation no trabaja tiempo extra ni utiliza la subcontratación. Davis puede contratar y capacitar a un nuevo empleado por $2,000 y el despido de cada trabajador le cuesta $500. El costo de inventario es de $32 por cada unidad disponible al final de cada mes. Actualmente hay 140 empleados en la nómina y el inventario de previsión es de cero.

a. Prepare un plan de producción con la estrategia al nivel de inventario, en el cual sólo se usen las contrataciones y el inventario de previsión como alternativas posibles, y se minimice el inventario que queda al final del año. Los despidos, tiempo improductivo, vacaciones, subcontratación, pedidos atrasados y desabasto no son opciones. El plan puede requerir que se haga un ajuste de la fuerza de trabajo, por única vez, antes del mes 1.

b. Prepare un plan de producción con una estrategia de persecución que se base únicamente en las contrataciones y despidos.

c. Compare y contraste estos dos planes en términos de costos anuales y otros factores que a su juicio sean importantes.

d. Proponga un plan de estrategia mixta que produzca mejores resultados que los dos planes anteriores. Explique por qué cree usted que su plan es mejor.

6. Flying Frisbee Company ha pronosticado los siguientes requisitos de personal para empleados de tiempo completo. La demanda es estacional y la gerencia desea contar con tres planes alternativos de personal.

Mes	1	2	3	4
Requisito	2	2	4	6
Mes	5	6	7	8
Requisito	18	20	12	18
Mes	9	10	11	12
Requisito	7	3	2	1

Actualmente, la compañía tiene 10 empleados. No es posible dar cabida a más de 10 empleados nuevos por mes, porque las instalaciones de capacitación son limitadas. No se autorizan pedidos atrasados y el tiempo extra no puede representar más del 25% de la capacidad del tiempo regular en un mes cualquiera. No hay costo alguno por la capacidad de tiempo extra no utilizada. Los salarios por tiempo regular son de $1,500 al mes y el pago de tiempo extra equivale al 150% de los salarios por tiempo regular. El tiempo improductivo se paga a la misma tarifa que el tiempo regular. El costo de contratación es de $2,500 por persona, y el costo de los despidos es de $2,000 por persona.

a. Prepare un plan de personal utilizando una estrategia al nivel de utilización de la fuerza de trabajo. El plan puede requerir un ajuste de la fuerza de trabajo, por única vez, antes del mes 1.

b. Aplicando una estrategia de persecución, prepare un plan que sea congruente con la restricción sobre contrataciones y minimice el uso de tiempo extra.

c. Elabore un plan de estrategia mixta, de bajo costo.

d. ¿Qué estrategia es la más rentable? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada plan?

7. Twilight Clothing Company fabrica pantalones vaqueros para niños. La gerencia acaba de preparar un pronóstico de ventas (en términos de pantalones) para el año próximo y ahora tiene que elaborar un plan de producción. Tradicionalmente, la compañía ha mantenido una estrategia al nivel de utilización de la fuerza de trabajo. En la actualidad, cuenta con ocho trabajadores que prestan sus servicios en la compañía desde hace muchos años. Cada empleado es capaz de producir 2,000 pantalones vaqueros en un periodo de planificación de dos meses. Cada año, la gerencia autoriza el tiempo extra en los periodos 1, 5 y 6, hasta por un máximo del 20% de la capacidad del tiempo regular. La gerencia desea evitar los pedidos atrasados y el desabasto, y no aceptará ningún plan que requiera esas deficiencias. En la actualidad, hay 12,000 pantalones en el inventario de bienes terminados. El pronóstico de demanda es el siguiente:

Periodo	1	2	3
Ventas	25,000	6,500	15,000
Periodo	4	5	6
Ventas	19,000	32,000	29,000

a. ¿Es factible mantener la fuerza de trabajo constante, suponiendo que el tiempo extra sólo se utilice en los periodos 1, 5 y 6? Explique.

b. Encuentre dos planes alternativos que satisfagan el propósito de la gerencia de no tener desabasto ni pedidos atrasados, sin tomar en cuenta los costos. ¿Qué ventajas y desventajas de estos dos planes deben tomarse en consideración?

PROBLEMAS AVANZADOS

Se recomiendan los métodos de programación lineal, como el método de transporte, para resolver los problemas avanzados 8 a 10. Encontrará aplicaciones adicionales de estos problemas de planificación de la producción en los problemas 16, 17 y 20 del suplemento E, "Programación lineal".

8. Bull Grin Company fabrica un suplemento nutritivo que muchas compañías productoras de alimentos para animales agregan a sus respectivos productos. Las ventas son estacionales, pero los clientes de Bull Grin se niegan a acumular inventarios del suplemento en los periodos en que hay pocas ventas. En otras palabras, los clientes desean minimizar sus inversiones en inventario, insisten en que la mercancía se les entregue de acuerdo con sus programas y no aceptan pedidos atrasados.

Bull Grin emplea trabajadores manuales no calificados, que requieren poca o ninguna capacitación. La producción de 1,000 libras de suplemento cuesta $830 en tiempo regular y $910 en tiempo extra. No se incurre en costos adicionales por la capacidad no utilizada de tiempo regular, tiempo extra o subcontratación. En estas cifras se incluyen los materiales, que representan el 80% del costo. El tiempo extra se limita a la producción de un total de 20,000 libras por trimestre. Además, los subcontratistas cobran $1,000 por cada 1,000 libras, pero sólo se pueden producir así 30,000 libras por trimestre.

El nivel actual de inventario es de 40,000 libras, y la gerencia desea terminar el año con ese mismo nivel. El mantenimiento en inventario de 1,000 libras de suplemento alimenticio por trimestre cuesta $100. El pronóstico anual más reciente se presenta en la tabla 14.1.

Use el método de transporte para la planificación de la producción para encontrar el plan de producción óptimo y calcule su costo, o utilice el enfoque de hoja de cálculo para hallar un buen plan de producción y calcular su costo.

9. Cut Rite Company es un importante productor de podadoras industriales para césped. El costo que implica para Cut Rite contratar a un trabajador semicalificado en su planta de ensamblaje es de $3,000, y el despido de un trabajador le cuesta $2,000. La producción promedio de la planta es de 36,000 podadoras por trimestre, utilizando su fuerza de trabajo actual de 720 empleados. La capacidad del tiempo regular es directamente proporcional al número de empleados. El tiempo extra se limita a la producción de un máximo de 3,000 podadoras por trimestre y la subcontratación está limitada a 1,000

TABLA 14.1 Pronósticos y capacidades

	Periodo				
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Total
Demanda (libras)	130,000	400,000	800,000	470,000	1,800,000
Capacidades (libras)					
Tiempo regular	390,000	400,000	460,000	380,000	1,630,000
Tiempo extra	20,000	20,000	20,000	20,000	80,000
Subcontratación	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000

segadoras por trimestre. El costo de producción de una podadora es de $2,430 en tiempo regular (incluidos los materiales), de $2,700 en tiempo extra y de $3,300 mediante la subcontratación. La capacidad no utilizada de tiempo regular cuesta $270 por podadora. No hay costo alguno por la capacidad no utilizada de tiempo extra o subcontratación. El nivel actual del inventario es de 4,000 podadoras y la dirección desea terminar el año con ese mismo nivel. Los clientes no toleran los pedidos atrasados, y el costo por mantenimiento de una podadora en inventario es de $300 por trimestre. La demanda de podadoras para el año entrante es:

Trimestre	1	2	3	4
Demanda	10,000	41,000	77,000	44,000

Se han propuesto dos planes para la fuerza de trabajo, y la dirección no está segura de cuál será más conveniente utilizar. La siguiente tabla muestra el número de empleados por trimestre de conformidad con cada plan.

Trimestre	1	2	3	4
Plan 1	720	780	920	720
Plan 2	860	860	860	860

a. ¿Qué plan recomendaría usted a la dirección? Explique su respuesta y sustente su recomendación con un análisis, utilizando el método de transporte para la planificación de la producción.

b. Si la dirección utilizara la asignación creativa de precios para inducir a los clientes a comprar podadoras durante los periodos no tradicionales, el resultado sería el programa de demanda siguiente

Trimestre	1	2	3	4
Demanda	20,000	54,000	54,000	44,000

¿Qué plan recomendaría ahora para la fuerza de trabajo?

10. Gretchen's Kitchen es un restaurante de comida rápida que está localizado en un sitio ideal, cerca de la escuela preparatoria local. Gretchen Lowe tiene que preparar un plan anual de personal. Los únicos elementos del menú son: hamburguesas, chili, refrescos, malteadas y papas fritas. Una muestra de 1,000 clientes, tomada al azar, reveló que esas personas compraron 2,100 hamburguesas, 200 pintas de chili, 1,000 refrescos y malteadas, y 1,000 bolsas de papas fritas. Así, para calcular los requisitos de personal, Lowe ha supuesto que cada cliente compra 2.1 hamburguesas, 0.2 pintas de chili, 1 refresco o malteada, y 1 bolsa de papas fritas. Cada hamburguesa requiere 4 minutos de mano de obra, una pinta de chili requiere 3 minutos y un refresco o malteada y una bolsa de papas requiere 2 minutos de mano de obra.

El restaurante tiene actualmente 10 empleados de tiempo parcial que trabajan 80 horas cada mes en turnos escalonados. Los salarios son de $400 mensuales en tiempo regular y $7.50 por cada hora de tiempo extra. Los costos de contratación y capacitación son de $2.50 por cada nuevo empleado, y los costos de despido ascienden a $50 por empleado.

Lowe sabe que no sería recomendable acumular inventarios estacionales de hamburguesas (ni de ninguno de los demás productos), porque el tiempo que esos productos duran en buen estado no es largo. Además, cualquier demanda no satisfecha se convierte en una venta perdida y debe evitarse. Piensa en tres estrategias:

- Aplicar una estrategia a nivel de utilización de la fuerza de trabajo, y emplear hasta el 20% de la capacidad de tiempo regular en tiempo extra.
- Mantener una base de 10 empleados, realizando contrataciones y despidos según se requiera, para evitar el tiempo extra.
- Aplicar una estrategia de persecución, contratando y despidiendo empleados según los cambios de la demanda, para evitar el tiempo extra.

Al realizar sus cálculos, Lowe siempre redondea el número de empleados al entero siguiente mayor. Además, sigue la política de no hacer trabajar a un empleado más de 80 horas al mes, excepto cuando se requiere tiempo extra. La demanda proyectada por mes (número de clientes) del año entrante es la siguiente:

Ene.	3,200	Jul.	4,800
Feb.	2,600	Ago.	4,200
Mar.	3,300	Sep.	3,800
Abr.	3,900	Oct.	3,600
May.	3,600	Nov.	3,500
Jun.	4,200	Dic.	3,000

a. Cree el programa de necesidades de servicio para el año próximo.

b. ¿Qué estrategia es la más eficaz?

c. Suponga que mediante un convenio con la escuela preparatoria, la gerente puede identificar a los estudiantes que son buenos candidos a empleados, sin tener que anunciarse en el periódico local. Con este recurso, el costo de contratación baja a $50, y corresponde principalmente a las hamburguesas que quemará el aprendiz durante su capacitación. Si el costo fuera su única

preocupación, ¿modificaría Gretchen Lowe su estrategia a causa de este método de contratación? Considerando otros objetivos que pudieran ser apropiados, ¿cree usted que Gretchen debe cambiar de estrategia?

11. Holloway Calendar Company produce una gran variedad de calendarios impresos para uso comercial y privado. La demanda de calendarios es altamente estacional y alcanza su punto máximo en el tercer trimestre. El inventario actual es de 165,000 calendarios y el inventario final debe ser de 200,000 calendarios.

Ann Ritter, gerente de producción de Holloway, desea encontrar el mejor plan de producción para los requisitos de demanda y el plan de capacidad que se presenta en la siguiente tabla. (En este caso, los valores de demanda y capacidad se expresan en miles de calendarios, y no en equivalentes de empleado-periodo). Ritter sabe que el costo en tiempo regular es de $0.50 por unidad, el costo del tiempo extra es de $0.75 por unidad, el costo de la subcontratación es de $0.90 por unidad y el costo por mantenimiento de inventario es de $0.10 por calendario, por trimestre.

	Trimestre				
	1	**2**	**3**	**4**	**Total**
Demanda	250	515	1,200	325	2,290
Capacidades					
Tiempo regular	300	300	600	300	1,500
Tiempo extra	75	75	150	75	375
Subcontratación	150	150	150	150	600

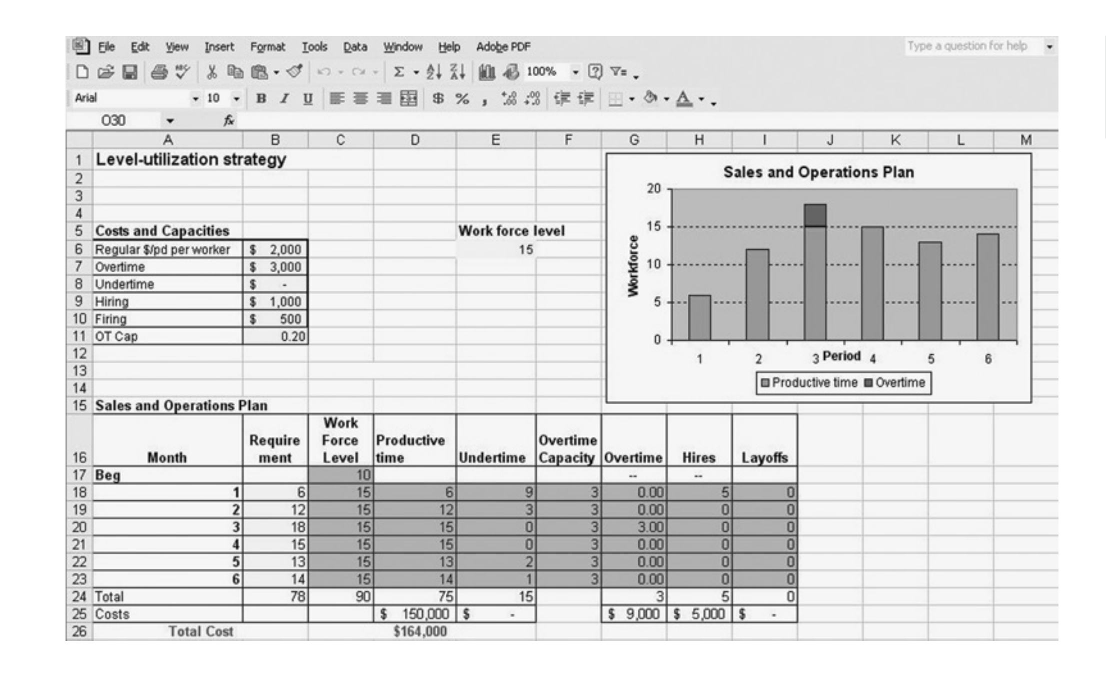
a. Recomiende un plan de producción a Ritter, utilizando el método de transporte para la planificación de la producción. (No permita que haya desabasto ni pedidos atrasados).
b. Interprete y explique su recomendación.
c. Calcule el costo total del plan de producción que acaba de recomendar.

> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO 

Este modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante. Le permitirá evaluar los efectos que produce modificar el tamaño de una fuerza de trabajo constante.

PREGUNTAS

1. Si se usa el mismo número de trabajadores en cada periodo, ¿qué ocurrirá a medida que el número de trabajadores aumenta de 15?
2. Si se usa el mismo número de trabajadores en cada periodo, ¿qué ocurrirá a medida que el número de trabajadores disminuye de 15?
3. Suponga que el costo de contratación es de $1,100. ¿Qué ocurrirá a medida que el número de trabajadores aumenta?
4. Suponga que el costo de tiempo extra es de $3,300. ¿Qué ocurrirá a medida que el número de trabajadores aumenta?
5. Suponga que el costo del tiempo improductivo es igual al costo del tiempo regular (es decir, tiempo improductivo pagado). ¿Cuál es el mejor número de trabajadores que se puede tener cada mes para seguir satisfaciendo la demanda?
6. Si la capacidad de tiempo extra aumenta a 30%, ¿cuál es el número mínimo de trabadores con el cual se puede satisfacer la demanda en cada mes?



Level-utilization strategy

Costs and Capacities	
Regular $/pd per worker	$ 2,000
Overtime	$ 3,000
Undertime	$ -
Hiring	$ 1,000
Firing	$ 500
OT Cap	0.20

Work force level: 15

Sales and Operations Plan

Month	Requirement	Work Force Level	Productive time	Undertime	Overtime Capacity	Overtime	Hires	Layoffs
Beg		10				--	--	
1	6	15	6	9	3	0.00	5	0
2	12	15	12	3	3	0.00	0	0
3	18	15	15	0	3	3.00	0	0
4	15	15	15	0	3	0.00	0	0
5	13	15	13	2	3	0.00	0	0
6	14	15	14	1	3	0.00	0	0
Total	78	90	75	15		3	5	0
Costs			$ 150,000	$ -		$ 9,000	$ 5,000	$ -
Total Cost			$164,000					

MODELO ACTIVO 14.1
Planificación de ventas y operaciones, usando los datos del ejemplo 14.1

CASO

Memorial Hospital

El Memorial Hospital es una institución regional de asistencia médica que cuenta con 265 camas y se localiza en las montañas del oeste de Carolina del Norte. La misión del hospital es brindar servicio médico de calidad a la población del condado de Ashe y a los seis condados circundantes. Para cumplir su misión, el director general del Memorial Hospital ha establecido tres objetivos: (1) maximizar el servicio al cliente para incrementar la satisfacción del mismo; (2) minimizar los costos para seguir siendo competitivos, y (3) minimizar las fluctuaciones de los niveles de la fuerza de trabajo para contribuir a estabilizar el empleo en la localidad.

Las operaciones del hospital se han dividido en ocho pabellones principales para efectos de planificación y programación del personal de enfermería. La lista de pabellones aparece en la tabla 14.2, junto con el número de camas, las razones paciente a enfermera que se han fijado como objetivo y el censo del promedio de pacientes que se reciben en cada pabellón. La demanda general de los servicios del hospital ha permanecido relativamente constante en los últimos años, a pesar de que la población de los siete condados que atiende ha aumentado. La estabilidad de la demanda puede atribuirse al incremento de la competencia de otros hospitales de la región y a que han surgido otros sistemas para el cuidado de la salud, como las organizaciones para el mantenimiento de la salud (HMO, del inglés *health maintenance organizations*). Sin embargo, la demanda de los servicios del Memorial Hospital varía considerablemente según el pabellón y la época del año. La tabla 14.3 presenta una subdivisión histórica mensual del censo correspondiente al número promedio de pacientes diarios por pabellón.

La directora de enfermería del Memorial Hospital es Darlene Fry. En otoño de cada año, se enfrenta a uno de los aspectos más complejos de su trabajo: planificar los niveles del personal de enfermería para el siguiente año civil. Aun cuando la demanda promedio de enfermeras ha sido relativamente estable en los últimos dos años, el plan de personal suele modificarse porque se registran cambios en las políticas de trabajo o en las estructuras de pago, y por la disponibilidad y el costo de los servicios de enfermeras temporales. Ahora que se acerca el otoño, Fry ha empezado a recopilar información para planificar los niveles de personal del año próximo.

Las enfermeras del Memorial Hospital trabajan en un horario regular de cuatro días por semana con jornadas de 10 horas. El salario promedio por tiempo regular en todas las clasificaciones de enfermeras es de $12.00 por hora. Se puede programar tiempo extra cuando sea necesario. Sin embargo, por las exigencias del trabajo que desarrollan las enfermeras, sólo se permite una cantidad limitada de tiempo extra por semana. Se puede programar a las enfermeras para que trabajen hasta 12 horas diarias durante un máximo de cinco días por semana. El tiempo extra se paga a razón de $18.00 por hora. En periodos de demanda extremadamente alta, es posible contratar temporalmente a enfermeras de tiempo parcial por un periodo limitado. A las enfermeras temporales se les pagan $15.00 por hora. El Memorial Hospital tiene una política que limita la proporción de enfermeras temporales al 15% del personal total de enfermería.

Encontrar, contratar y retener a enfermeras calificadas es un problema constante para los hospitales. Una razón de esto es que

TABLA 14.2 Datos sobre la capacidad de los pabellones

Pabellón	Número de camas	Pacientes por enfermera	Censo de pacientes*
Cuidados intensivos	20	2	10
Cardiología	25	4	15
Maternidad	30	4	10
Pediatría	40	4	22
Cirugía	5	†	†
Postoperatorio	15	5	8 (equivalente diario mar-vie)‡
Urgencias	10	3	5 (equivalente diario)‡
General	120	8	98

* Promedio anual por día.

† El hospital emplea a 20 enfermeras de quirófano. Las operaciones habituales se programan para los martes y viernes; en esos días se pueden programar cinco cirugías diarias por sala de operaciones (quirófano). Las operaciones de emergencia se programan según se requiera.

‡ Se utilizan equivalentes diarios para programar a las enfermeras porque la afluencia de pacientes en esos pabellones se produce en periodos relativamente cortos. Un equivalente diario de 5 indica que, durante un día típico, se atiende en promedio a cinco pacientes en el pabellón.

TABLA 14.3 Censo promedio diario de pacientes por mes

	Mes											
Pabellón	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
Cuidados intensivos	13	10	8	7	7	6	11	13	9	10	12	14
Cardiología	18	16	15	13	14	12	13	12	13	15	18	20
Maternidad	8	8	12	13	10	8	13	13	14	10	8	7
Pediatría	22	23	24	24	25	21	22	20	18	20	21	19
Cirugía*	20	18	18	17	16	16	22	21	17	18	20	22
Postoperatorio†	10	8	7	7	6	6	10	10	7	8	9	10
Urgencias†	6	4	4	7	8	5	5	4	4	3	4	6
General	110	108	100	98	95	90	88	92	98	102	107	94

*Promedio de cirugías por día.

†Equivalentes diarios.

diversas modalidades de la medicina privada atraen a muchas enfermeras, porque ofrecen salarios mejores y mayor flexibilidad, apartándolas de los hospitales. Esta situación ha provocado que el Memorial garantice a su personal de enfermería de tiempo completo el pago de 30 horas por semana como mínimo, independientemente de la demanda que realmente tengan sus servicios. Además, todas las enfermeras tienen derecho a cuatro semanas de vacaciones pagadas cada año. Sin embargo, la programación de las vacaciones puede estar algo restringida, según la demanda proyectada de enfermeras en determinadas épocas del año.

En el presente, el hospital emplea a 130 enfermeras, incluidas 20 de quirófano. Las otras 110 enfermeras son asignadas a las otras siete áreas principales del hospital. El departamento de personal ha informado a Fry que el costo promedio que tiene para el hospital contratar a una nueva enfermera de tiempo completo es de $400 y que el despido o cese de una enfermera le cuesta $150. Aunque los despidos son una opción, Fry tiene muy presente que el hospital se ha propuesto como uno de sus objetivos mantener estable el nivel de su fuerza de trabajo.

Después de examinar la información que ha recopilado, Darlene Fry necesita estudiar los posibles cambios de personal en todas las áreas, excepto en el pabellón quirúrgico, que ya cuenta con el personal apropiado.

PREGUNTAS

1. Explique cuáles son las alternativas Darlene Fry tiene a su disposición ahora que se dispone a elaborar un plan de personal de enfermería para el Memorial Hospital. ¿En qué grado satisface cada una de ellas los objetivos establecidos por el director general?
2. Tomando como base los datos presentados, elabore un plan de personal de enfermería para el Memorial Hospital. Explique los razonamientos en que se basa su plan.

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armacost, R. L., R. L. Penlesky y S. C. Ross, "Avoiding Problems Inherent in Spreadsheet-Based Simulation Models—An Aggregate Planning Application", *Production and Inventory Management*, volumen 31, 1990, pp. 62–68.

Brandimarte, P. y A. Villa (editores), *Modeling Manufacturing Systems: From Aggregate Planning to Real-Time Control,* Nueva York, Springer, 1999.

Buxey, G., "Production Planning and Scheduling for Seasonal Demand", *International Journal of Operations and Production Management*, volumen 13, número 7, 1993, pp. 4–21.

"Cycle Management—Cycle Proficiency", *Post Magazine,* 1 de julio de 2004, p. 22.

Fisher, M. L., J. H. Hammond, W. R. Obermeyer y A. Raman, "Making Supply Meet Demand in an Uncertain World", *Harvard Business Review*, volumen 72, número 3, 1994, pp. 83–93.

Fogarty, Donald W., John H. Blackstone Jr. y Thomas R. Hoffman, *Production and Inventory Management,* Cincinnati, South-Western Publishing, 1991.

Heskett, J., W. E. Sasser y C. Hart, *Service Breakthroughs: Changing the Rules of the Game,* Nueva York, The Free Press, 1990.

Hopp, Wallace J. y Mark L. Spearman, *Factory Physics,* 2a. edición, Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2001.

Lee, S. M. y L. J. Moore, "A Practical Approach to Production Scheduling", *Production and Inventory Management,* primer trimestre de 1974, pp. 79–92.

Lee, W. B. y B. M. Khumawala, "Simulation Testing of Aggregate Production Planning Models in an Implementation Methodology", *Management Science,* volumen 20, número 6, 1974, pp. 903–911.

Narasimhan, S., D. W. McLeavey y P. J. Billington, *Production Planning and Inventory Control,* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995.

Ryan, D. M., "Optimization Earns Its Wings", *OR/MS Today*, volumen 27, número 2, 2000, pp. 26–30.

Silver, E. A., F. F. Pyke y R. Peterson, *Inventory Management and Production Planning and Scheduling,* Nueva York, Wiley, 1998.

Sipper, D. y R. Bulfin, *Production: Planning, Control, and Integration,* Nueva York, McGraw-Hill, 1997.

Smith-Daniels, V., S. Scheweikhar y D. Smith-Daniels, "Capacity Management in Health Care Services: Review and Future Research Directions", *Decision Sciences,* volumen 91, 1988, pp. 889–919.

Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*, 5a. edición, Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2004.

Wallace, Thomas F., *Sales & Operations Planning: The How-To Handbook*, 2a. edición, Cincinnati, Ohio, T. E. Wallace & Company, 2004.

Wallace, Thomas F. y Robert A. Stahl, *Sales Forecasting: A New Approach,* Cincinnati, Ohio, T. E. Wallace & Company, 2002.



SUPLEMENTO
Programación lineal

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este suplemento, usted podrá:

1. Identificar las características y suposiciones de los modelos de programación lineal.
2. Formular modelos apropiados para diversos problemas.
3. Demostrar análisis gráficos y soluciones para problemas con dos variables.
4. Definir las variables de holgura y superávit.
5. Explicar el análisis de sensibilidad.
6. Interpretar los resultados obtenidos por computadora de una solución de programación lineal.

En muchas situaciones de negocios, los recursos son limitados y la demanda de los mismos es grande. Por ejemplo, puede ser necesario programar múltiples recorridos de un número limitado de vehículos para atender a los clientes, o tal vez sea necesario elaborar un plan de personal que permita atender la demanda variable esperada con el menor número posible de empleados. En este suplemento se describe una técnica llamada **programación lineal**, *que es útil para asignar los recursos escasos entre las distintas demandas que compiten por ellos. Los recursos pueden ser tiempo, dinero o materiales, y las limitaciones se conocen como restricciones. La programación lineal ayuda a los gerentes a encontrar la mejor solución para la asignación y les proporciona información sobre el valor de otros recursos.*

CONCEPTOS BÁSICOS

Para demostrar cómo se resuelven problemas en la administración de operaciones por medio de la programación lineal, es preciso explicar primero varias características comunes de todos los modelos de programación lineal y las suposiciones matemáticas que se aplican a ellos: (1) función objetivo; (2) variables de decisión; (3) restricciones; (4) región factible; (5) parámetros; (6) linealidad, y (7) no negatividad.

programación lineal

Técnica que es útil para asignar los recursos escasos entre las distintas demandas que compiten por ellos.

función objetivo

Una expresión en el modelo de programación lineal que enuncia matemáticamente lo que se intenta maximizar (por ejemplo, las utilidades o el valor presente) o minimizar (por ejemplo, los costos o el desperdicio).

La programación lineal es un proceso de *optimización*. Una sola **función objetiva** expresa matemáticamente lo que se intenta maximizar (por ejemplo, las utilidades o el valor presente) o minimizar (por ejemplo, los costos o el desperdicio). La función objetivo proporciona el sistema de calificaciones mediante el cual se juzgará el atractivo de las diferentes soluciones.

variables de decisión

Las variables que representan las opciones que están bajo el control de la persona que toma las decisiones.

Las **variables de decisión** representan las opciones que están bajo el control de la persona que toma las decisiones. Resolviendo el problema se obtienen sus valores óptimos. Por ejemplo, una variable de decisión podría ser el número de unidades de un producto que se fabricarán durante el mes próximo o el número de unidades que se mantendrán en inventario el mes entrante. La programación lineal se basa en la suposición de que las variables de decisión son *continuas*, ya sean cantidades fraccionarias o números enteros. Con frecuencia, esta suposición es realista, como cuando la variable de decisión se expresa en dólares, horas o alguna otra medida continua. Sin embargo, aun cuando las variables de decisión representen unidades no divisibles, como trabajadores, mesas o camiones, a veces es posible redondear simplemente hacia arriba o abajo la solución de programación lineal para obtener una solución razonable que no viole ninguna restricción, o se puede usar una técnica más avanzada que se llama *programación entera*.

restricciones

Las limitaciones que restringen las opciones permisibles para las variables de decisión.

Las **restricciones** son limitaciones que restringen las opciones permisibles para las variables de decisión. Cada limitación puede expresarse matemáticamente en cualquiera de estas tres formas: una restricción menor que o igual a (≤), igual a (=), o mayor que o igual a (≥). Una restricción ≤ impone un límite superior a cierta función de las variables de decisión y se emplea con mayor frecuencia en problemas de maximización. Por ejemplo, una restricción ≤ puede especificar el número máximo de clientes a los cuales es posible atender o el límite de capacidad de una máquina. Una restricción = significa que la función tiene que ser igual a un valor determinado. Por ejemplo, que es necesario fabricar 100 unidades de un producto (no 99 ni 101). Una restricción = se usa frecuentemente para indicar ciertas relaciones obligatorias, como el hecho de que el inventario final siempre debe ser igual al inventario inicial más la producción menos las ventas. Una restricción ≥ impone un límite inferior a alguna función de las variables de decisión. Por ejemplo, una restricción ≥ puede especificar que la producción de cierto producto debe ser superior o igual a la demanda.

región factible

Región que representa todas las combinaciones permisibles de las variables de decisión en un modelo de programación lineal.

Todo problema de programación lineal debe tener una o varias restricciones. Consideradas en conjunto, esas restricciones definen una **región factible**, que representa todas las combinaciones permisibles de las variables de decisión. En algunas situaciones inusuales, el problema está restringido de manera tan estricta que sólo existe una solución posible (o tal vez ninguna). No obstante, en el caso más común, la región factible contiene un número infinito de soluciones posibles, suponiendo que las combinaciones factibles de las variables de decisión puedan ser valores fraccionarios. La meta de la persona que toma las decisiones consiste en encontrar la mejor solución posible.

parámetro

Un valor que la persona a cargo de tomar la decisión no puede controlar y que no cambia cuando se implementa la solución.

certidumbre

Palabra que se utiliza para describir que un hecho se conoce sin lugar a duda.

La función objetivo y las restricciones son funciones de las variables de decisión y los parámetros. Un **parámetro**, también conocido como *coeficiente* o *constante dada*, es un valor que la persona a cargo de tomar la decisión no puede controlar y que no cambia cuando se implementa la solución. Se supone que todos los parámetros se conocen con **certidumbre**. Por ejemplo, un programador de computadoras puede saber de antemano que la ejecución de un programa de software requerirá tres horas, ni más ni menos.

linealidad

Característica del modelo de programación lineal que implica proporcionalidad y aditividad; no puede haber productos ni potencias de las variables de decisión.

Se supone que las ecuaciones de la función objetivo y las restricciones son lineales. La **linealidad** implica proporcionalidad y aditividad; no puede haber productos (por ejemplo, $10x_1x_2$) ni potencias (por ejemplo, x_1^3) de las variables de decisión. Supongamos que las utilidades obtenidas con la fabricación de dos tipos de productos (representados por las variables de decisión x_1 y x_2) son $2x_1 + 3x_2$. La proporcionalidad implica que una unidad de x_1 hace una contribución de \$2 a las utilidades y que dos unidades contribuyen con \$4, independientemente de la cantidad de x_2 producida. Asimismo, cada unidad de x_2 contribuye con \$3, sin importar que se trate de la primera o la décima unidad producida. El principio de aditividad significa que el valor total de la función objetivo es igual a las utilidades de x_1 más las utilidades de x_2.

no negatividad

Suposición de que las variables de decisión deben ser positivas o cero.

Finalmente, se parte de una suposición de **no negatividad**, lo cual significa que las variables de decisión deben ser positivas o cero. Por ejemplo, una empresa que fabrica salsa para espagueti jamás podrá producir un número negativo de frascos. Para que una formulación de programación lineal sea formalmente correcta, tiene que mostrar una restricción ≥ 0 para cada variable de decisión.

Aun cuando las suposiciones de linealidad, certidumbre y variables continuas son restrictivas, la programación lineal ayuda a los gerentes a analizar muchos problemas complejos de asignación de recursos. El proceso de construcción del modelo obliga a los gerentes a identificar las variables de decisión y las restricciones importantes, lo cual constituye un paso útil por derecho propio. La

identificación de la naturaleza y el alcance del problema es un paso muy importante hacia su solución. En una sección posterior, se demostrará cómo el análisis de sensibilidad puede ayudar al gerente a lidiar con la incertidumbre de los parámetros y a responder preguntas "hipotéticas".

FORMULACIÓN DE UN PROBLEMA

Las aplicaciones de la programación lineal comienzan con la formulación de un *modelo* del problema con las características generales antes descritas. El proceso de construcción de un modelo se ilustra aquí con el **problema de la mezcla de productos**, que es un tipo de problema de planificación para un solo periodo, cuya solución proporciona las cantidades óptimas de producción (o mezcla de productos) de un grupo de productos o servicios sujetos a restricciones de la capacidad de los recursos disponibles y la demanda del mercado. La formulación de un modelo que permita representar cada problema único, aplicando la siguiente secuencia de tres pasos, constituye la parte más creativa de la programación lineal y, posiblemente, la más difícil.

problema de la mezcla de productos

Un tipo de problema de planificación para un solo periodo, cuya solución proporciona las cantidades óptimas de producción (o mezcla de productos) de un grupo de productos o servicios sujetos a restricciones de la capacidad de los recursos disponibles y la demanda del mercado.

Paso 1. Definir las variables de decisión. ¿Qué es lo que se pretende decidir? Defina específicamente cada variable de decisión, recordando que las definiciones empleadas en la función objetivo deberán ser igual de útiles en el caso de las restricciones. También deberán ser lo más específicas que sea posible. Considere las dos definiciones alternativas siguientes:

x_1 = producto 1
x_1 = número de unidades del producto 1 que se producirán y venderán el próximo mes

La segunda definición es mucho más específica que la primera, lo cual facilita los siguientes pasos.

Paso 2. Escribir la función objetivo. ¿Qué es lo que se intenta maximizar o minimizar? Si se trata de las utilidades del mes entrante, escriba una función objetivo en la cual las utilidades del próximo mes sean una función lineal de las variables de decisión. Identifique los parámetros que acompañarán a cada variable de decisión. Por ejemplo, si cada unidad de x_1 vendida produce una utilidad de $7, la utilidad total del producto $x_1 = 7x_1$. Si una variable no tiene efecto alguno sobre la función objetivo, el coeficiente de su función objetivo será 0. Con frecuencia, la función objetivo es igual a Z, y la meta que se persigue es maximizar o minimizar Z.

Paso 3. Escribir las restricciones. ¿Qué factores limitan los valores de las variables de decisión? Identifique las restricciones y los parámetros de cada variable de decisión incluida en esas expresiones. Igual que en el caso de la función objetivo, el parámetro de una variable que no produce efecto alguno sobre una restricción es 0. A fin de mantener la debida corrección formal, escriba también las restricciones de no negatividad.

Como comprobación de la consistencia, asegúrese de utilizar la misma unidad de medición en ambos lados de cada restricción y en la función objetivo. Por ejemplo, supongamos que el lado derecho de una restricción está expresado en horas de capacidad por mes. Entonces, si una variable de decisión en el lado izquierdo de la restricción mide el número de unidades producido por mes, las dimensiones del parámetro que se multiplica por la variable de decisión deberán ser horas por unidad, porque

$$\left(\frac{\text{Horas}}{\cancel{\text{Unidades}}}\right)\left(\frac{\cancel{\text{Unidades}}}{\text{Mes}}\right)=\left(\frac{\text{Horas}}{\text{Mes}}\right)$$

Por supuesto, también es posible saltar de un paso a otro, dependiendo de la parte del problema en que esté concentrada la atención. Si no logra superar el paso 1, ensaye con un nuevo conjunto de definiciones para las variables de decisión. Puede haber más de una forma de construir correctamente el modelo de un problema.

Formulación de un modelo de programación lineal — EJEMPLO E.1

Stratton Company produce dos tipos básicos de tubo de plástico. Tres recursos son fundamentales para la producción de esos tubos: las horas de extrusión, las horas de embalaje y un aditivo especial para las materias primas del plástico. Los siguientes datos representan la situación correspondiente a la semana próxima. Todos los datos se expresan en unidades de 100 pies de tubo.

	Producto		
Recurso	**Tipo 1**	**Tipo 2**	**Disponibilidad de recursos**
Extrusión	4 hr	6 hr	48 hr
Embalaje	2 hr	2 hr	18 hr
Mezcla aditiva	2 lb	1 lb	16 lb

La contribución a las utilidades y a los gastos generales por cada 100 pies de tubo es de $34 para el tipo 1 y $40 para el tipo 2. Formule un modelo de programación lineal para determinar qué cantidad de cada tipo de tubo será necesario producir para maximizar la contribución a las utilidades y a los gastos generales.

SOLUCIÓN

Paso 1: Para definir las variables de decisión que determinan la mezcla de productos, se supondrá que

x_1 = cantidad de tubo tipo 1 que se producirá y venderá la semana próxima, medida en incrementos de 100 pies (por ejemplo, $x_1 = 2$ significa 200 pies de tubo tipo 1)

y

x_2 = cantidad de tubo tipo 2 que se producirá y venderá la semana próxima, medida en incrementos de 100 pies

Paso 2: A continuación, se define la función objetivo. La meta es maximizar la contribución total de los dos productos a las utilidades y los gastos generales. Cada unidad de x_1 reditúa $34 y cada unidad de x_2 reditúa $40. Para valores específicos de x_1 y x_2, la utilidad total se obtiene multiplicando el número de unidades fabricadas de cada producto por la utilidad por unidad y sumándolas después. Así, la función objetivo se convierte en:

$$\text{Maximizar: } \$34x_1 + \$40x_2 = Z$$

Paso 3: El paso final consiste en formular las restricciones. Cada unidad producida de x_1 y x_2 consume una parte de los recursos críticos. En el departamento de extrusión, una unidad de x_1 requiere 6 horas. El total no debe rebasar las 48 horas de capacidad disponibles, por lo cual se usa el signo ≤. Por lo tamo, la primera restricción es

$$4x_1 + 6x_2 \leq 48 \text{ (extrusión)}$$

En forma similar, se pueden formular las restricciones para el embalaje y las materias primas:

$$2x_1 + 2x_2 \leq 18 \text{ (embalaje)}$$
$$2x_1 + x_2 \leq 16 \text{ (mezcla aditiva)}$$

Estas tres restricciones limitan la selección de valores para las variables de decisión, porque los valores que se seleccionen para x_1 y x_2 deberán satisfacer todas las restricciones. Los valores negativos de x_1 y x_2 no tendrían sentido, por lo que se agregarán restricciones de no negatividad al modelo:

$$x_1 \geq 0 \quad \text{y} \quad x_2 \geq 0 \text{ (restricciones de no negatividad)}$$

Ahora se puede expresar el modelo entero, el cual está integrado por las definiciones de las variables.

$$\begin{aligned} \text{Maximizar: } & \$34x_1 + \$40x_2 = Z \\ \text{Sujeto a: } & 4x_1 + 6x_2 \leq 48 \\ & 2x_1 + 2x_2 \leq 18 \\ & 2x_1 + x_2 \leq 16 \\ & x_1 \geq 0 \quad \text{y} \quad x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

donde

x_1 = cantidad de tubo tipo 1 que se producirá y venderá la semana próxima, medida en incrementos de 100 pies
x_2 = cantidad de tubo tipo 2 que se producirá y venderá la semana próxima, medida en incrementos de 100 pies

ANÁLISIS GRÁFICO

método gráfico de programación lineal
Tipo de análisis gráfico que comprende los siguientes cinco pasos: trazar el gráfico de las restricciones, identificar la región factible, trazar la línea de la función objetivo, encontrar la solución visual y encontrar la solución algebraica.

Una vez que se ha formulado el modelo, se buscará la solución óptima. En la práctica, la mayoría de los problemas de programación lineal se resuelve con ayuda de la computadora. Sin embargo, se puede comprender el significado de los resultados que ésta ofrece, así como de los conceptos de programación lineal en general, analizando un problema sencillo de dos variables con el **método gráfico de programación lineal**. Por consiguiente, se empezará con el método gráfico, a pesar de que no es una técnica práctica para resolver los problemas que tienen tres o más variables de decisión. Los cinco pasos básicos son: (1) *trazar el gráfico de las restricciones*; (2) *identificar la*

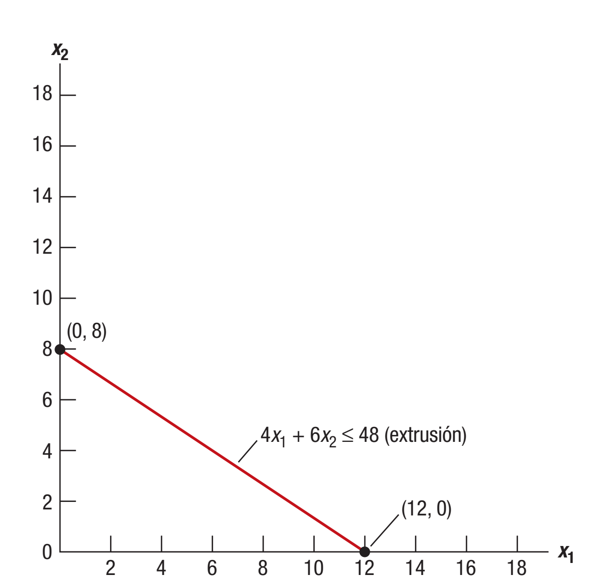


FIGURA E.1

Gráfico de la restricción de extrusión

región factible; (3) *trazar la línea de la función objetivo;* (4) *encontrar la solución visual*, y (5) *encontrar la solución algebraica*.

TRAZAR EL GRÁFICO DE LAS RESTRICCIONES

Para empezar, se trazará el gráfico de las ecuaciones de restricción, pasando por alto la parte de la desigualdad correspondiente a las restricciones (< o >). Al hacer que cada restricción se convierta en una igualdad (=), ésta se transforma en la ecuación de una línea recta. La recta se traza en cuanto se identifiquen dos puntos contenidos en ella. Se pueden elegir dos puntos cualesquiera razonablemente distantes; los más sencillos de encontrar son las *intersecciones con los ejes*, es decir, aquéllos donde la recta cruza cada uno de los ejes. Para encontrar la intersección con el eje de x_1, x_2 se establece igual a 0 y se resuelve la ecuación para x_1. En el caso de Stratton Company, mencionada en el ejemplo E.1, la ecuación de la línea correspondiente al proceso de extrusión es la siguiente:

$$4x_1 + 6x_2 = 48$$

Para la intersección con el eje x_1, $x_2 = 0$, por lo tanto,

$$4x_1 + 6(0) = 48$$
$$x_1 = 12$$

Para encontrar la intersección con el eje x_2, se establece $x_1 = 0$ y se resuelve la ecuación para obtener x_2:

$$4(0) + 6x_2 = 48$$
$$x_2 = 8$$

Se unen los puntos (0, 8) y (12, 0) por medio de una línea recta, como se muestra en la figura E.1

Cómo trazar los gráficos de las restricciones



Para el problema de Stratton Company, se trazará el gráfico de las demás restricciones: una restricción para el embalaje y otra para la mezcla aditiva.



MODELO ACTIVO E.1

El modelo activo E.1 en el CD-ROM del estudiante contiene muchas ideas que ayudan a comprender mejor el análisis gráfico y el análisis de sensibilidad. Úselo cuando estudie los ejemplos E.2 a E.5.

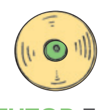
SOLUCIÓN

La ecuación de la recta correspondiente al proceso de embalaje es $2x_1 + 2x_2 = 18$. Para encontrar la intersección x_1 se establece $x_2 = 0$:

$$2x_1 + 2(0) = 18$$
$$x_1 = 9$$

Para encontrar la intersección con el eje x_2 se establece $x_1 = 0$:

$$2(0) + 2x_2 = 18$$
$$x_2 = 9$$



TUTOR E.1

El tutor E.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar cómo se trazan los gráficos de las restricciones.

La ecuación de la línea de la mezcla aditiva es $2x_1 + x_2 = 16$. Para encontrar la intersección x_1 se establece $x_2 = 0$:

$$2x_1 + 0 = 16$$
$$x_1 = 8$$

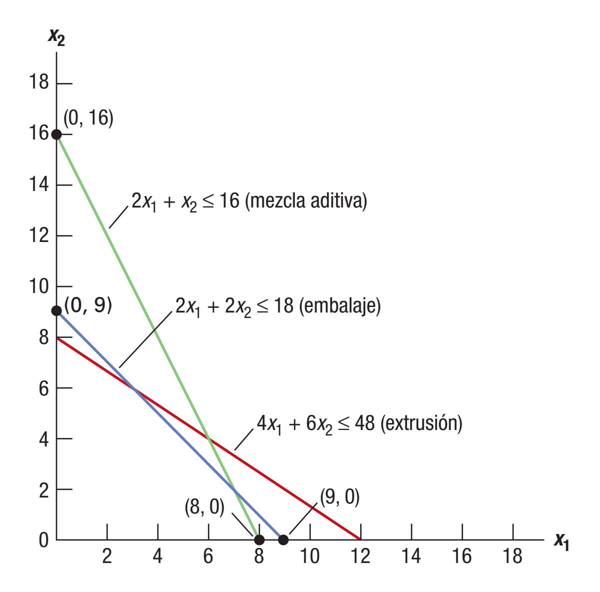
Para encontrar la intersección con eje x_2 se establece $x_1 = 0$:

$$2(0) + x_2 = 16$$
$$x_2 = 16$$

Con una línea recta se unen puntos (0, 9) y (9, 0) para representar la restricción de embalaje, y los puntos (0, 16) y (8, 0) para la restricción de la mezcla aditiva. La figura E.2 muestra el gráfico con las tres restricciones trazadas.

FIGURA E.2

Gráfico de las tres restricciones



IDENTIFICAR LA REGIÓN FACTIBLE

La región factible es el área del gráfico que contiene las soluciones que satisfacen simultáneamente todas las restricciones, incluso las restricciones de no negatividad. Para encontrar la región factible, localice primero los puntos factibles de cada restricción y, a continuación, el área que satisfaga todas las restricciones. Generalmente, las tres reglas siguientes identifican los puntos factibles de una restricción dada:

1. Para la restricción =, sólo los puntos de la línea son soluciones factibles.
2. Para la restricción ≤, los puntos de la línea y los puntos debajo o a la izquierda de ella son soluciones factibles.
3. Para la restricción ≥, los puntos de la línea y los puntos arriba o a la derecha de la misma son soluciones factibles.

Las excepciones a estas reglas se presentan cuando uno o varios de los parámetros del lado izquierdo de una restricción son negativos. En esos casos, se traza la línea de la restricción y se hace una prueba con alguno de los puntos que se localizan a un lado de la misma. Si dicho punto no satisface la restricción, eso significa que se encuentra en la parte no factible del gráfico. Suponga que un modelo de programación lineal tienen las siguientes cinco restricciones, además de las restricciones de no negatividad:

$$2x_1 + x_2 \ge 10$$
$$2x_1 + 3x_2 \ge 18$$
$$x_1 \le 7$$
$$x_2 \le 5$$
$$-6x_1 + 5x_2 \le 5$$
$$x_1, x_2 \ge 0$$

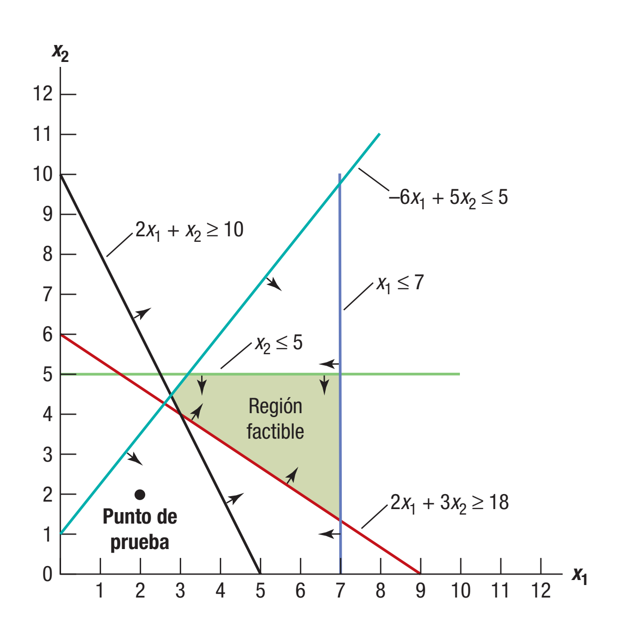


FIGURA E.3
Identificación de la región factible

La región factible es la región sombreada en la figura E.3. Las flechas que aparecen en cada restricción indican el lado que es factible de cada línea. Las reglas son válidas para todas las restricciones, excepto la quinta, pues ésta tiene un parámetro negativo, –6, para x_1. Arbitrariamente se selecciona (2, 2) como el punto de prueba, que, como se aprecia en la figura E.3, está debajo y a la derecha de la línea. En ese punto se encuentra que –6(2) + 5(2) = –2. Puesto que –2 no es mayor que 5, la porción de la figura que contiene (2, 2) es factible, cuando menos para esta quinta restricción.

Identificación de la región factible — EJEMPLO E.3

Identifique la región factible para el problema de Stratton Company.

SOLUCIÓN

En virtud de que el problema contiene sólo restricciones ≤, y los parámetros del lado izquierdo de cada restricción son no negativos, las porciones factibles se localizan a la izquierda y debajo de cada restricción. La región factible, que aparece sombreada en la figura E.4, satisface simultáneamente las tres restricciones.

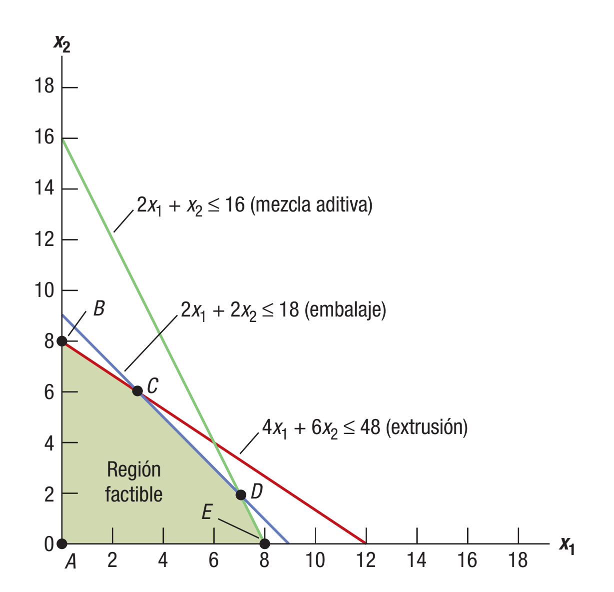


FIGURA E.4
La región factible

TRAZAR LA LÍNEA DE FUNCIÓN OBJETIVO

punto extremo

Punto que se localiza en la intersección de dos (o posiblemente más) líneas de restricción, en la frontera de la región factible.

Ahora es necesario encontrar la solución que optimice la función objetivo. Aun cuando todos los puntos de la región factible representan soluciones posibles, la búsqueda se puede limitar a los puntos localizados en los vértices. Un **punto extremo** se localiza en la intersección de dos (o posiblemente más) líneas de restricción, en la frontera de la región factible. No es necesario considerar ninguno de los puntos interiores de la región factible porque por lo menos uno de los puntos extremo es mejor que cualquiera de los puntos interiores. En forma similar, se puede pasar por alto otros puntos de la frontera de la región factible porque existe un punto extremo que es cuando menos tan satisfactorio como cualquiera de ellos.

En la figura E.4, los cinco puntos extremo están marcados con las letras *A, B, C, D* y *E*. El punto *A* es el origen (0, 0) y se puede pasar por alto porque cualquier otro punto factible es una solución mejor. Se puede probar con cada uno de los demás puntos extremo de la función objetivo y seleccionar aquel que maximice *Z*. Por ejemplo, el punto extremo *B* se encuentra en (0, 8). Si se sustituyen estos valores en la función objetivo, el valor resultante de *Z* es 320:

$$34x_1 + 40x_2 = Z$$
$$34(0) + 40(8) = 320$$

Sin embargo, es posible que no se puedan interpretar con precisión los valores de x_1 y x_2 correspondientes a algunos de los puntos (por ejemplo, *C* o *D*) del gráfico. La resolución algebraica de dos ecuaciones lineales para cada punto extremo también resulta ineficaz cuando hay muchas restricciones y, por lo tanto, muchos puntos extremo.

El mejor procedimiento consiste en trazar la función objetivo sobre el gráfico de la región factible, para valores arbitrarios de *Z*. A partir de esas líneas de la función objetivo es posible distinguir visualmente la mejor solución. Si la función objetivo es utilidades, cada línea se conoce como una *línea isoutilidades* y cada punto de ésta producirá la misma utilidad. Si *Z* mide el costo, esa recta se llama *línea isocostos* y cada uno de sus puntos representa el mismo costo. Para simplificar la búsqueda se traza la primera recta en la región factible, más o menos donde esperamos que se encuentre la solución óptima. En el ejemplo de Stratton Company, hagamos pasar una línea por el punto *E*(8, 0). Éste es un punto extremo, que podría ser incluso la solución óptima porque está alejado del origen. Para trazar esa línea, se identificará primero su valor *Z* como 34(8) + 40(0) = 272. Por lo tanto, la ecuación de la línea de la función objetivo que pasa por *E* es la siguiente:

$$34x_1 + 40x_2 = 272$$

Cada punto de la línea definido por esta ecuación tiene un valor de la función objetivo de 272. Para trazar la línea, es necesario identificar un segundo punto de esta recta y después unir los dos puntos. Se usará la intersección x_2, donde $x_1 = 0$:

$$34(0) + 40x_2 = 272$$
$$x_2 = 6.8$$

La figura E.5 muestra la línea isoutilidades que une los puntos (8, 0) y (0, 6.8). Se podría trazar una serie de otras líneas discontinuas paralelas a la primera línea. Cada una tendría su propio valor de *Z*. Las líneas por encima de la primera que se trazaran tendrían valores de *Z* más altos. Las líneas por debajo de la primera tendrían valores de *Z* más bajos.

ENCONTRAR LA SOLUCIÓN VISUAL

Ahora se eliminan los puntos extremo *A* y *E* para no considerarlos como solución óptima, puesto que hay otros puntos preferibles arriba y a la derecha de la línea isoutilidades con *Z* = 272. Como la meta es maximizar las utilidades, la mejor solución es el punto de la línea isoutilidades que esté *más alejado* del origen, pero que todavía toque la región factible. (En problemas de minimización, éste será el punto de la región factible sobre la línea isocostos que se encuentre *más cerca* del origen). Para identificar cuál de los puntos extremo restantes (*B*, *C* o *D*) es el punto óptimo, se dibujará paralelamente a la primera recta, una o más líneas isoutilidades que produzcan mejores valores de *Z* (más altos si la meta es maximizar y más bajos si de lo que se trata es de minimizar). La línea que apenas toque la región factible corresponderá a la solución óptima. Para el problema de Stratton Company, la figura E.6 muestra la segunda línea isoutilidades. La solución óptima es el último punto que toque la región factible, es decir, el punto *C*. Tal parece que dicho punto se encuentra en las cercanías de (3, 6), pero la solución visual no es exacta.

Un problema de programación lineal puede tener más de una solución óptima. Esta situación se presenta cuando la función objetivo es paralela a una de las caras de la región factible. Ese caso se presentaría si, en el problema de Stratton Company, la función objetivo fuera $\$38x_1 + \$38x_2$. Los puntos (3, 6) y (7, 2) serían óptimos, lo mismo que cualquier otro punto de la línea que une esos dos puntos extremo. En ese caso, la gerencia probablemente basaría su decisión final en factores

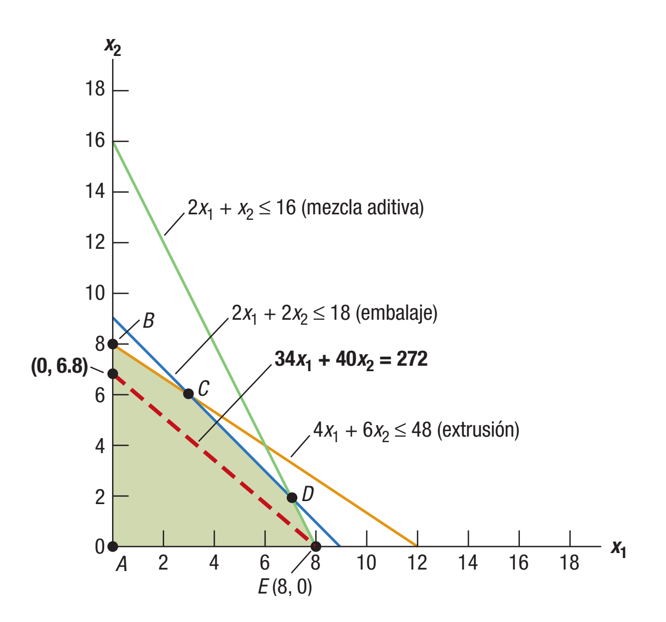


FIGURA E.5

Cómo hacer que una línea isoutilidades pase por (8, 0)

no cuantificables. Sin embargo, es importante comprender que al optimizar una función objetivo, sólo es necesario considerar los puntos extremo de la región factible.

ENCONTRAR LA SOLUCIÓN ALGEBRAICA

Para encontrar una solución exacta se tiene que usar el álgebra. Para empezar, se identificará la pareja de restricciones que definen el punto extremo en su intersección. A continuación, se formularán las restricciones como ecuaciones y se resolverán en forma simultánea para encontrar las coordenadas (x_1, x_2) del punto extremo. Las ecuaciones simultáneas pueden resolverse de diversas maneras. Si se trata de problemas pequeños, el método más sencillo es el siguiente:

Paso 1. Desarrolle una ecuación con una sola incógnita. Comience multiplicando ambos lados de la ecuación por una constante, de manera que el coeficiente de una de las dos variables de decisión sea *idéntico* en ambas ecuaciones. Después, reste una ecuación de la otra y resuelva la ecuación resultante para obtener el valor de su única incógnita.

Paso 2. Sustituya el valor de esa variable de decisión en cualquiera de las restricciones originales y resuelva la ecuación para encontrar la otra variable de decisión.

Cómo encontrar la solución óptima por medios algebraicos — EJEMPLO **E.4**

Encuentre algebraicamente la solución óptima del problema de Stratton Company. ¿Cuál es el valor de Z cuando las variables de decisión tienen valores óptimos?



TUTOR E.2

El tutor E.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar cómo se encuentra la solución óptima.

SOLUCIÓN

Paso 1: La figura E.6 muestra que el punto extremo óptimo se localiza en la intersección de las restricciones de extrusión y de embalaje. Si las restricciones se escriben como igualdades, se tiene que:

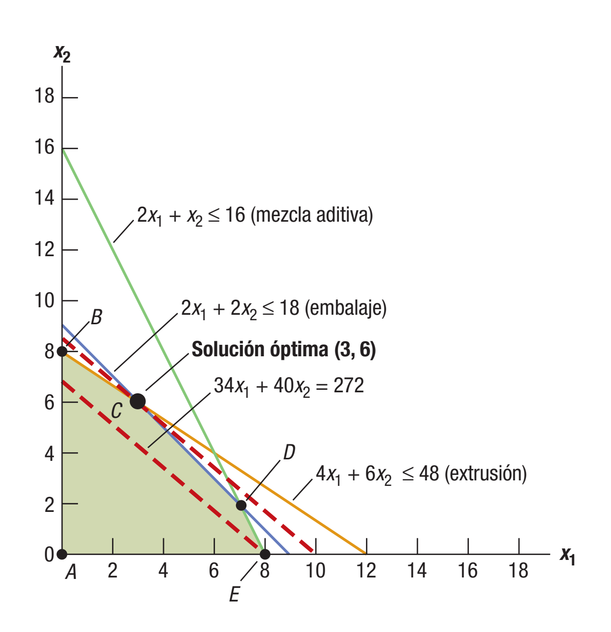
$$4x_1 + 6x_2 = 48 \text{ (extrusión)}$$
$$2x_1 + 2x_2 = 18 \text{ (embalaje)}$$

Cada término de la restricción de embalaje se multiplica por 2. Ahora la restricción de embalaje es $4x_1 + 4x_2 = 36$. A continuación, se resta la restricción de embalaje de la de extrusión. El resultado será una ecuación en la cual se ha eliminado x_1 (También se podría multiplicar la segunda ecuación por 3, para que x_2 se eliminara al efectuar la resta). Por tanto:

$$\begin{aligned} 4x_1 + 6x_2 &= 48 \\ -\,(4x_1 + 4x_2 &= 36) \\ \hline 2x_2 &= 12 \\ x_2 &= 6 \end{aligned}$$

FIGURA E.6

Cómo trazar la segunda línea isoutilidades



Paso 2: Si se sustituye el valor de x_2 en la ecuación de extrusión, se obtiene:

$$4x_1 + 6(6) = 48$$
$$4x_1 = 12$$
$$x_1 = 3$$

Así, el punto óptimo es (3, 6). Esta solución produce una utilidad total de 34(3) + 40(6) = $342.

Punto de decisión La gerencia de Stratton Company ha decidido producir 300 pies de tubo tipo 1 y 600 pies de tubo tipo 2 la semana próxima.

VARIABLES DE HOLGURA Y SUPERÁVIT

La figura E.6 muestra que la mezcla de productos óptima agotará todos los recursos de extrusión y embalaje porque en el punto extremo óptimo (3, 6), las dos restricciones se convierten en igualdades. Al sustituir los valores de x_1 y x_2 en esas restricciones, se observa que el lado izquierdo de las ecuaciones se vuelve igual al lado derecho de las mismas:

$$4(3) + 6(6) = 48 \text{ (extrusión)}$$
$$2(3) + 2(6) = 18 \text{ (embalaje)}$$

restricción obligatoria
Restricción que ayuda a formar el punto extremo óptimo; limita la posibilidad de mejorar la función objetivo.

Una restricción (como la correspondiente a la extrusión) que ayuda a formar el punto extremo óptimo recibe el nombre de **restricción obligatoria**, porque limita la posibilidad de mejorar la función objetivo. Si una restricción obligatoria se *relaja*, es decir, se vuelve menos restrictiva, surge la posibilidad de encontrar una solución mejor. Relajar una restricción significa incrementar el parámetro del lado derecho si se trata de una restricción ≤, o reducirlo si se trata de una restricción ≥. No es posible obtener una mejoría si la restricción que se ha relajado no es obligatoria, como en el caso de la restricción de la mezcla aditiva ilustrada en la figura E.6. Si el lado derecho aumentara de 16 a 17 y se resolviera nuevamente el problema, la solución óptima no cambiaría. En otras palabras, ya hay más mezcla aditiva de lo necesario.

holgura
La cantidad por la cual el lado izquierdo es menor que el lado derecho.

superávit
La cantidad por la cual el lado izquierdo es mayor que el lado derecho.

En el caso de restricciones de desigualdad no obligatorias, es útil conocer la diferencia entre el lado izquierdo y el derecho. Esa información indica en qué grado se acerca la restricción a convertirse en obligatoria. Para una restricción ≤, la cantidad por la cual el lado izquierdo es menor que el lado derecho se conoce como **holgura**. Para una restricción ≥, la cantidad por la cual el lado izquierdo es mayor que el lado derecho se conoce como **superávit**. Para encontrar la holgura de una restricción ≤ por el método algebraico, se *agrega* una variable de holgura a la restricción y se convierte en una igualdad. A continuación, se sustituyen los valores de las variables de decisión y se resuelve para la holgura. Por ejemplo, la restricción de la mezcla aditiva de la figura E.6, $2x_1 + x_2 \leq 16$, se puede volver a escribir agregando la variable de holgura s_1:

$$2x_1 + x_2 + s_1 = 16$$

Después, se calcula la holgura en la solución óptima (3, 6):

$$2(3) + 6 + s_1 = 16$$
$$s_1 = 4$$

El procedimiento es muy parecido para encontrar el excedente de una restricción ≥, excepto que en este caso *se resta* una variable de superávit del lado izquierdo. Suponga que $x_1 + x_2 \geq 6$ fuera otra restricción en el problema de Stratton Company, que representa un límite más bajo para el número de unidades producidas. Entonces la restricción se reescribiría, restando una variable de superávit s_2:

$$x_1 + x_2 - s_2 = 6$$

La holgura en la solución óptima (3, 6) sería la siguiente:

$$3 + 6 - s_2 = 6$$
$$s_2 = 3$$



TUTOR E.3

El tutor E.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar cómo se encuentra la holgura.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Rara vez se conocen con certeza los parámetros de la función objetivo y las restricciones. Con frecuencia, solamente son estimaciones de sus valores reales. Por ejemplo, las horas disponibles de embalaje y extrusión en Stratton Company son estimaciones que no reflejan las incertidumbres asociadas con el ausentismo o las transferencias de personal, y las horas requeridas para embalar o moldear por extrusión una unidad pueden ser normas de trabajo que, en esencia, son simples promedios. Asimismo, las contribuciones a las utilidades empleadas para determinar el valor de los coeficientes de la función objetivo no reflejan las incertidumbres presentes en los precios de venta y en ciertos costos variables, como salarios, materias primas y embarques.

A pesar de esas incertidumbres, se requieren estimaciones iniciales para resolver el problema. Contabilidad, marketing y los sistemas de información de las normas de trabajo proporcionan esas estimaciones iniciales. Después de haber resuelto el problema utilizando esos valores estimados, el analista puede determinar en qué medida resultarían afectados los valores óptimos de las variables de decisión y el valor de la función objetivo Z si ciertos parámetros tuvieran valores diferentes. Este tipo de análisis posterior a la solución, que se realiza para responder preguntas hipotéticas, se llama *análisis de sensibilidad*.

Una forma de efectuar el análisis de sensibilidad para problemas de programación lineal es el laborioso método de resolución directa, que consiste en cambiar uno o varios valores de los parámetros y volver a resolver todo el problema. Este método puede ser aceptable para problemas pequeños, pero resulta ineficaz cuando intervienen muchos parámetros. Por ejemplo, el método de resolución directa del análisis de sensibilidad, utilizando 3 valores distintos para cada uno de 20 coeficientes de la función objetivo, requiere ensayar con 3^{20}, o ¡3,486,784,401 soluciones diferentes! Por fortuna, disponemos de métodos eficientes para obtener información relacionada con la sensibilidad, sin tener que resolver de nuevo todo el problema. Esos métodos son los que se usan habitualmente en la mayoría de los paquetes de software de programación lineal para computadora.

En la tabla E.1 se describen los cuatro tipos básicos de información del análisis de sensibilidad que proporciona la programación lineal. Consulte una descripción más detallada del análisis de sensibilidad en el CD-ROM del estudiante, donde continúa el análisis gráfico de Stratton Company.

TABLA E.1 Información del análisis de sensibilidad proporcionada por la programación lineal

Término	Definición
sensibilidad del coeficiente	La medida de cuánto debe mejorar el coeficiente de la función objetivo de una variable de decisión (incremento para maximizar o decremento para minimizar) para que la solución óptima cambie y la variable de decisión se convierta en un número positivo.
rango de factibilidad	El intervalo dentro del cual el parámetro del lado derecho puede variar mientras que su precio sombra siga siendo válido.
rango de optimalidad	Los límites inferior y superior dentro de los cuales los valores óptimos de las variables de decisión no cambian.
precio sombra	La mejora marginal de Z (incremento para maximizar y decremento para minimizar) que se produce como resultado de relajar la restricción en una unidad.

SOLUCIÓN POR COMPUTADORA

método símplex

Un procedimiento algebraico iterativo para resolver problemas de programación lineal.

La mayoría de los problemas de programación lineal del mundo real se resuelven con la ayuda de computadoras, por lo cual nos concentraremos aquí en comprender cómo se usa la programación lineal y la lógica en la que se basa. El procedimiento de solución en los códigos de computadora es una de las variantes del **método símplex**, que es un procedimiento algebraico iterativo para resolver problemas de programación lineal.

MÉTODO SÍMPLEX

El análisis gráfico permite comprender la lógica del método símplex, centrando inicialmente la atención en los puntos extremo. Un punto extremo siempre será el óptimo, aun cuando existan muchas soluciones óptimas. Así, el método símplex comienza con un punto extremo inicial y a continuación evalúa sistemáticamente otros puntos extremo, de manera que la función objetivo mejore (o, en el peor de los casos, permanezca igual) en cada iteración. En el problema de Stratton Company, una posible mejora consistiría en un incremento de las utilidades. Cuando ya no es posible lograr más mejoras, sabemos que se ha hallado la solución óptima.[1] El método símplex también ayuda a generar información del análisis de sensibilidad que aquí se ha desarrollado gráficamente.

Cada punto extremo no tiene más que m variables mayores que 0, donde m es el número de restricciones (sin contar las restricciones de no negatividad). Entre las variables m figuran las de holgura y superávit, no sólo las variables originales de decisión. En virtud de esta propiedad, es posible encontrar un punto extremo mediante la resolución simultánea de m restricciones, donde todas las variables, excepto m de ellas, son iguales a 0. Por ejemplo, el punto B que se observa en la figura E.6 tiene tres variables distintas de 0: x_2, la variable de holgura del embalaje y la variable de holgura de la mezcla aditiva. Para encontrar sus valores, se resuelven simultáneamente las tres restricciones, haciendo que x_1 y la variable de holgura de la extrusión sean iguales a 0. Después de haber determinado este punto extremo, el método símplex aplica información similar a la sensibilidad del coeficiente, a fin de decidir qué nuevo punto extremo puede encontrar a continuación, con el cual se obtenga un valor de Z aún mejor. El procedimiento continúa en la misma forma hasta que ya no sea posible encontrar ningún punto extremo mejor. El último punto extremo evaluado será el óptimo.

RESULTADOS PRODUCIDOS POR COMPUTADORA

Los programas de computación reducen drásticamente el tiempo que se requiere para resolver problemas de programación lineal. Es posible desarrollar programas de propósito especial para utilizarlos con las aplicaciones que deben repetirse con frecuencia. Esos programas simplifican el ingreso de datos y generan la función objetivo y las restricciones apropiadas para el problema. Además, son capaces de preparar informes administrativos personalizados.

Las capacidades y presentaciones de los paquetes de software no son uniformes. Por ejemplo, OM Explorer y POM para Windows pueden manejar problemas pequeños y medianos de programación lineal. OM Explorer se basa en el *Solver* del programa Excel de Microsoft para encontrar las soluciones óptimas y, por lo tanto, es necesario instalar el "complemento *Solver*" de Excel para que sea compatible con la hoja de cálculo de programación lineal de OM Explorer. La resolución de problemas de programación lineal con estos paquetes, en vez de resolverlos directamente con el *Solver* de Excel, es más conveniente. Los datos se introducen con facilidad y no es necesario ingresar las restricciones de no negatividad. Para otros programas informáticos de programación lineal, vea ILOG Optimization Suite (www.ilog.com/products/optimization), Lindo Systems (www.lindo.com), Optimization Subroutine Library de IBM (www.research.ibm.com./osl), Premium Solver Products for Microsoft Excel de FrontLine (www.frontsys.com/xlprod.htm), y el estudio más reciente de Lionheart sobre software de programación lineal (lionhrtpub.com/orms/surveys/LP/LP-survey.html).

Aquí se presentan los resultados obtenidos con OM Explorer, aunque tal vez le parezca que es más práctico usar POM para Windows. OM Explorer produce tres hojas de cálculo, que ilustran el caso de Stratton Company. Los resultados de las primeras dos hojas de cálculo se muestran en la figura E.7.

La *Hoja de cálculo de datos de entrada* pide el número de variables de decisión y restricciones, y también requiere determinar si se trata de un problema de maximización o de minimización. Después de introducir estos datos y hacer clic en el botón Setup Problem (Configurar problema), se abre la *Hoja de cálculo del área de trabajo.* El usuario tiene la opción de introducir rótulos (etiquetas) para distinguir las variables de decisión, los valores del lado derecho, la función objetivo y las restricciones. En este caso, la primera variable de decisión tiene el rótulo "X1", los valores del lado derecho se rotularon "RHV", la función objetivo se rotuló "Max-Z" y a la restricción de extrusión se le asignó el rótulo "Extrusión". Para efectos prácticos, al especificar el tipo de restricción (≤, =, o ≥), simplemente escriba "<" para una restricción ≤, y ">" para una restricción ≥. Las variables de

[1]Para mayor información sobre la forma de realizar manualmente el método símplex, véase Render, Stair y Hanna (2003), o cualquier otro libro de texto actual sobre ciencia de la administración.

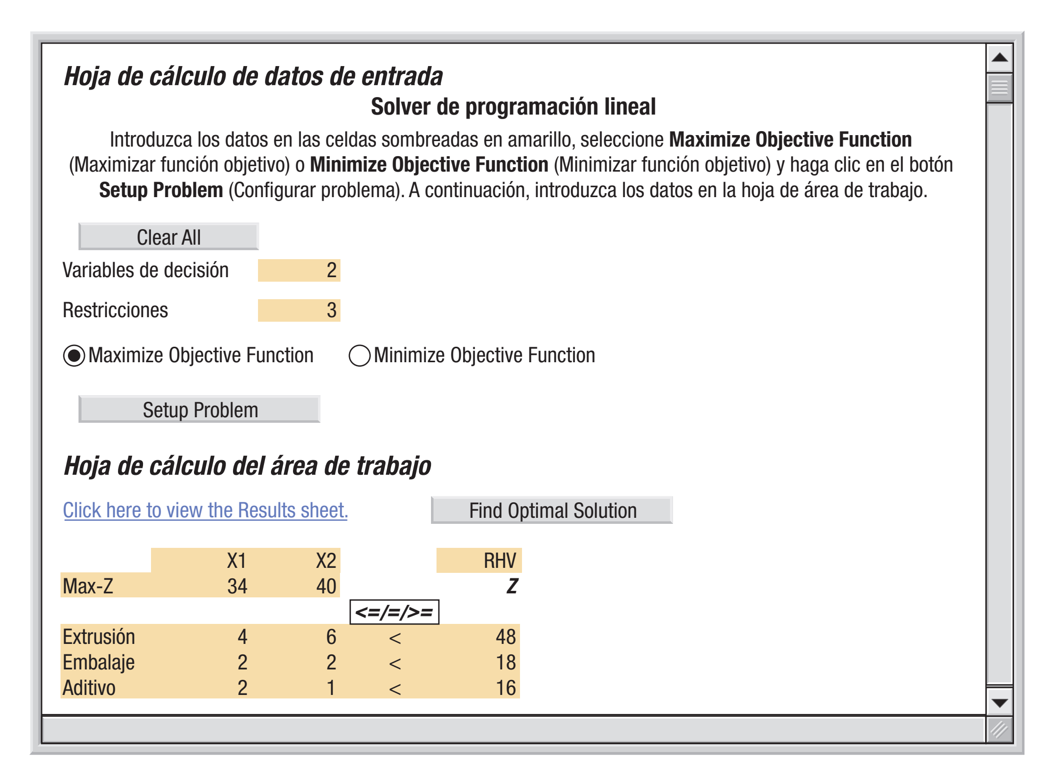


FIGURA E.7

Hoja de cálculo de datos de entrada

holgura y superávit se añadirán automáticamente, según sea necesario. Cuando haya terminado de introducir todos los datos, haga clic en el botón "Find Optimal Solution" (Encontrar solución óptima).

La *Hoja de cálculo de resultados,* que se muestra en la figura E.8, presenta la solución óptima del problema de Stratton Company. OM Explorer comienza mostrando los valores óptimos de las variables de decisión (X1 = 3.0000 y X2 = 6.0000), los coeficientes de las funciones objetivos y las sensibilidades de los coeficientes. También indica un número que corresponde a la sensibilidad del coeficiente de la función objetivo de cada variable de decisión.

1. El número de sensibilidad sólo es pertinente en una variable de decisión que es 0 en la solución óptima. Si la variable de decisión es mayor que 0, haga caso omiso del número de sensibilidad del coeficiente.
2. OM Explorer consigna el valor absoluto del número de sensibilidad del coeficiente, pasando por alto los signos negativos. Así, el valor siempre indica cuánto tiene que *mejorar* el coeficiente de la función objetivo (incremento cuando se trata de problemas de maximización o decremento para problemas de minimización) para que la solución óptima cambie. En ese punto, la variable de decisión asociada con el coeficiente introduce la solución óptima en cierto nivel positivo. Para ver la nueva solución, aplique OM Explorer de nuevo con un coeficiente mejorado ligeramente mayor que el número de sensibilidad del coeficiente.

Solución

Rótulo de la variable	Valor de la variable	Coeficiente original	Sensibilidad del coeficiente
X1	3.0000	34.0000	0
X2	6.0000	40.0000	0
Rótulo de la restricción	**RHV original**	**Holgura o superávit**	**Precio sombra**
Extrusión	48	0	3.0000
Embalaje	18	0	11.0000
Aditivo	16	4	0
Valor de la función objetivo:			342

Análisis de sensibilidad y rangos

Coeficientes de la función objetivo			
Rótulo de la variable	Límite Inferior	Coeficiente original	Límite superior
X1	26.66666667	34	40
X2	34	40	51
Valores del lado derecho			
Rótulo de la restricción	Límite inferior	Valor original	Límite superior
Extrusión	40	48	54
Embalaje	16	18	20
Aditivo	12	16	Sin límite

FIGURA E.8

Hoja de cálculo de resultados

De este modo, para el problema de Stratton Company, las sensibilidades de los coeficientes no aportan nada nuevo porque siempre son 0 cuando las variables de decisión tienen valores positivos en la solución óptima. Observe en cambio los límites inferior y superior de los coeficientes de la función objetivo, proporcionados en una sección de resultados posterior.

Para las restricciones, la figura E.8 muestra los valores originales del lado derecho, las variables de holgura o superávit y los precios sombra. Se proporciona un precio sombra por cada valor del lado derecho o, dicho más específicamente, la variable de holgura o superávit de la restricción. A continuación se presentan dos consejos prácticos para interpretar su valor:

1. El número es pertinente sólo en una restricción obligatoria, donde la variable de holgura o superávit es 0 en la solución óptima. En una restricción no obligatoria, el precio sombra es 0.
2. Explorer consigna el valor absoluto de las cifras de los precios sombra, pasando por alto los signos negativos. Así, el valor siempre indica cuánto tiene que *mejorar* el valor Z de la función objetivo (incremento cuando se trata de problemas de maximización o decremento para problemas de minimización) si se "relaja" la restricción en una unidad. Relajar significa aumentar el valor del lado derecho de una restricción $\leq$ o reducirlo en una restricción $\geq$. El precio sombra también puede interpretarse como la pérdida marginal (o penalización) en Z causada por hacer que la restricción sea más restrictiva en una unidad.

Por tanto, el problema de Stratton Company tiene 4 libras de holgura de la mezcla aditiva, por lo que el precio sombra es 0. El embalaje, por otro lado, es una restricción obligatoria porque no tiene holgura. El precio sombra de una hora más de embalaje es de $11.

Por último, al final de la salida de la solución (como se muestra en la figura E.8), OM Explorer consigna que el valor Z optimo de la función objetivo es $342. Todos los resultados confirman nuestros cálculos anteriores y el análisis gráfico.

La parte correspondiente a Análisis de sensibilidad y rangos de la *Hoja de cálculo de resultados,* presentada en la figura E.8, comienza con el rango dentro del cual los coeficientes de la función objetivo pueden variar sin modificar los valores óptimos de las variables de decisión. Observe que c_1, que actualmente tiene un valor de $34, tiene un rango de optimalidad que va de $26.67 a $40. El valor Z de la función objetivo variaría si los coeficientes cambiaran dentro de este rango, pero los valores óptimos de las variables de decisión seguirían siendo los mismos. Finalmente, OM Explorer consigna el rango de factibilidad dentro del cual los parámetros del lado derecho pueden variar sin cambiar los precios sombra. Por ejemplo, el precio sombra de $11 para el embalaje es válido dentro del rango de 16 a 20 horas. Una vez más, estas conclusiones son idénticas a las del análisis de sensibilidad realizado gráficamente. La diferencia es que OM Explorer puede manejar más de dos variables de decisión (hasta 99) y resolver los problemas con mucha mayor rapidez.

El número de variables en la solución óptima (contando las variables de decisión, las variables de holgura y las variables de superávit) que son mayores que 0 no pueden exceder jamás el número de restricciones. Tal es el caso del problema de Stratton Company, con sus tres restricciones (sin contar las restricciones implícitas de no negatividad) y tres variables distintas de cero en la solución óptima (X1, X2, y la variable de holgura de la mezcla aditiva). En muy contadas ocasiones, el número de variables distintas de cero en la solución óptima puede ser menor que el número de restricciones, condición que se conoce como **degeneración**. Cuando se presenta la degeneración, la información del análisis de sensibilidad es dudosa. Haga caso omiso de la parte del análisis de sensibilidad de los resultados de OM Explorer que sea dudosa. Si necesita más información hipotética, simplemente vuelva a ejecutar OM Explorer usando nuevos valores de los parámetros que desee investigar.

degeneración
Condición que se presenta cuando el número de variables distintas de cero en la solución óptima es menor que el número de restricciones.

EJEMPLO E.5 Utilización de los precios sombra para tomar decisiones

Stratton Company necesita encontrar respuestas para tres preguntas importantes: ¿valdrá la pena incrementar las capacidades en el área de embalaje o extrusión si el costo es de $8 más por hora por encima de los costos normales que ya están reflejados en los coeficientes de la función objetivo? ¿Valdrá la pena incrementar la capacidad de embalaje si su costo es de $6 adicionales por hora? ¿Valdrá la pena comprar más materias primas?

SOLUCIÓN

Expandir la capacidad de extrusión costaría una suma adicional de $8 por hora, pero el precio sombra de esa capacidad es únicamente de $3 por hora. Sin embargo, incrementar las horas de embalaje costaría sólo $6 por hora más que el precio reflejado en la función objetivo, y el precio sombra es de $11 por hora. Finalmente, la compra de más materias primas no valdría la pena porque ya existe un excedente de 4 libras; el precio sombra de ese recurso es 0.

Punto de decisión La gerencia ha decidido incrementar la capacidad de horas de embalaje, pero no ampliar la capacidad de extrusión ni comprar más materias primas.

APLICACIONES

Muchos problemas de administración de operaciones y de otras áreas funcionales se han modelado como problemas de programación lineal. Si la persona a cargo de tomar decisiones sabe formular un problema en términos generales, podrá adaptarlo después a la situación que se le presente.

A continuación, se presenta una lista de algunos problemas que pueden resolverse con la programación lineal. Los problemas de repaso que aparecen al final de este suplemento y de otros capítulos ilustran muchos problemas de este tipo.

- **Administración de restricciones**
  Mezcla de productos. Encontrar la mejor mezcla de productos que puede fabricarse, dadas ciertas restricciones de capacidad y demanda.
- **Distribución**
  Embarques. Encontrar las asignaciones óptimas para los embarques de las fábricas a los centros de distribución o de los almacenes a las tiendas de venta al detalle.
- **Inventario**
  Control de existencias. Determinar la mezcla de productos óptima que se mantendrá en inventario en un almacén.
  Selección de proveedores. Encontrar la combinación óptima de proveedores para minimizar el volumen de inventario no deseado.
- **Localización**
  Plantas o almacenes. Determinar la localización óptima de una planta o almacén, en relación con los costos totales de transporte, eligiendo entre varias alternativas de localización y tomando en cuenta las fuentes de aprovisionamiento y demanda ya existentes.
- **Administración de procesos**
  Recorte de material. Conocidas las dimensiones de un rollo u hoja de materia prima, encontrar el patrón de corte que minimice la cantidad de material desperdiciado.
- **Planificación de ventas y operaciones**
  Producción. Encontrar el programa de producción que tenga el costo mínimo, tomando en cuenta los costos de contrataciones y despidos, mantenimiento de inventario, tiempo extra y subcontratación, sujeto a diversas restricciones de capacidad y política.
  Personal. Encontrar los niveles óptimos de personal para diversas categorías de trabajadores, sujeto a diversas restricciones de demanda y política.
  Mezclas. Encontrar la proporción óptima de los distintos ingredientes que se utilizan en la fabricación de los productos, como gasolina, pinturas y alimentos, sujeto a ciertos requisitos mínimos.
- **Programación**
  Turnos. Determinar la asignación de trabajadores por turnos, que tenga el costo mínimo, sujeto a variaciones en la demanda.
  Vehículos. Asignar vehículos a productos o clientes y determinar el número de recorridos por hacer, dependiendo del tamaño del vehículo, la disponibilidad del mismo y las restricciones de la demanda.
  Rutas. Encontrar las rutas óptimas de un producto o servicio a través de diversos procesos secuenciales, cada uno con su respectiva capacidad y otras características propias.

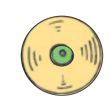
CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS)

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este suplemento.

> TÉRMINOS CLAVE <

certidumbre 600
degeneración 612
función objetivo 600
holgura 608
linealidad 600
método gráfico de programación lineal 602
método símplex 610
no negatividad 600
parámetro 600
precio sombra 609
problema de la mezcla de productos 601
programación lineal 600
punto extremo 606
rango de factibilidad 609
rango de optimalidad 609
región factible 600
restricción obligatoria 608
restricciones 600
sensibilidad del coeficiente 609
superávit 608
variables de decisión 600

> PROBLEMA RESUELTO 1 <



TUTOR E.4

El tutor E.4 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar cómo se encuentran las soluciones gráfica y algebraica.

O'Connel Airlines está estudiando la posibilidad de proporcionar servicio aéreo desde su centro de operaciones en Cicely, Alaska, a Rome, Wisconsin, y Seattle, Washington. O'Connel tiene una terminal en el aeropuerto de Cicely, que está en servicio 12 horas diarias. Cada vuelo requiere el uso de la terminal durante 1 hora. Cada vuelo a Rome consume 15 horas de tiempo de la tripulación de pilotos y se espera que produzca una utilidad de $2,500. Para atender a Seattle se requieren 10 horas de tiempo de la tripulación de pilotos por vuelo y eso redundaría en una utilidad de $2,000 por vuelo. La mano de obra de la tripulación de pilotos está limitada a 150 horas diarias. El mercado para el servicio a Rome se limita a nueve vuelos al día.

a. Aplique el método gráfico de programación lineal para maximizar las utilidades de O'Connel Airlines.

b. Identifique las restricciones de holgura y superávit, si las hay.

SOLUCIÓN

a. La función objetivo es maximizar las utilidades, Z:

$$\text{Maximizar:}\quad \$2{,}500x_1 + \$2{,}000x_2 = Z$$

donde

x_1 = número de vuelos diarios a Rome, Wisconsin
x_2 = número de vuelos diarios a Seattle, Washington

Las restricciones son:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &\leq 12 \text{ (capacidad de la terminal)} \\ 15x_1 + 10x_2 &\leq 150 \text{ (mano de obra)} \\ x_1 &\leq 9 \text{ (mercado)} \\ x_1 \geq 0 \quad &\text{y} \quad x_1 \geq 0 \end{aligned}$$

Si se trazan cuidadosamente líneas isoutilidades paralelas a la que se muestra en la figura E.9, se verá que el punto D es la solución óptima. Se encuentra en la intersección de las restricciones de mano de obra y capacidad de la terminal. Resolviendo algebraicamente, se obtiene:

$$\begin{aligned} 15x_1 + 10x_2 &= 150 \text{ (mano de obra)} \\ \underline{-10x_1 - 10x_2} &= \underline{-120} \text{ (terminal} \times -10) \\ 5x_1 + 0x_2 &= 30 \\ x_1 &= 6 \\ 6 + x_2 &= 12 \text{ (terminal)} \\ x_2 &= 6 \end{aligned}$$

La utilidad máxima se consigue realizando seis vuelos a Rome y seis vuelos a Seattle:

$$\$2{,}500(6) + \$2{,}000(6) = \$27{,}000$$

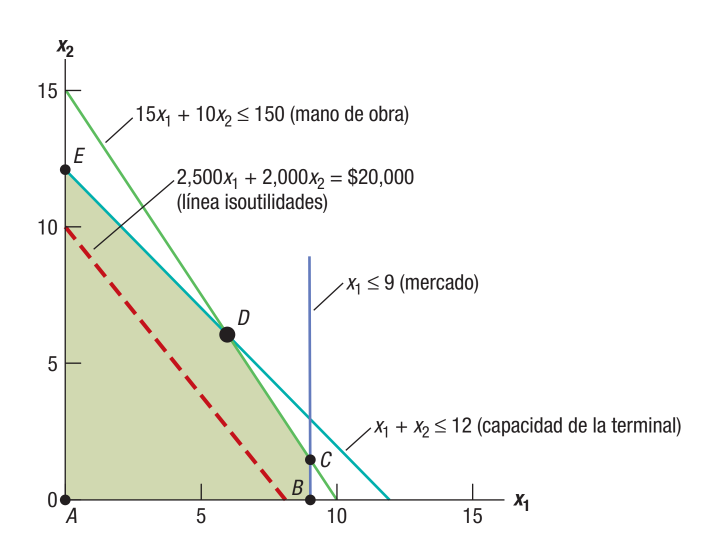


FIGURA E.9
Solución gráfica para O'Connel Airlines

b. La restricción del mercado tiene tres unidades de holgura, por lo que la demanda de vuelos a Rome no se satisface por completo:

$$x_1 \leq 9$$
$$x_1 + s_3 = 9$$
$$6 + s_3 = 9$$
$$s_3 = 3$$

> PREGUNTA PARA DISCUSIÓN <

Un problema particular de maximización por medio de la programación lineal tiene las siguientes restricciones "menores que" o "iguales a": (1) materias primas; (2) horas de mano de obra, y (3) espacio de almacenamiento. La solución óptima se presenta en la intersección de las restricciones de materias primas y horas de mano de obra, por lo que dichas restricciones son obligatorias. La gerencia está considerando si será conveniente autorizar tiempo extra. ¿Qué información útil podría proporcionar la solución de programación lineal a la gerencia para tomar esta decisión? Suponga que de pronto se desocupa un almacén que puede alquilarse a un costo sumamente bajo. ¿Qué datos necesitaría conocer la dirección para decidir si debe alquilar o no el almacén? ¿En qué forma le podría resultar útil el modelo de programación lineal?

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos. Cuando éstos son especialmente complejos y la meta es interpretar los resultados para tomar decisiones, el software sustituye por completo los cálculos manuales. El software también puede ser un recurso valioso después de que concluya el curso.

1. The Really Big Shoe es un fabricante de calzado deportivo para básquetbol y fútbol. El gerente de marketing, Ed Sullivan, tiene que decidir la mejor forma de gastar los recursos destinados a publicidad. Cada uno de los equipos de fútbol patrocinados requiere 120 pares de zapatos. Cada equipo de básquetbol requiere 32 pares de zapatos. Los entrenadores de fútbol reciben $300,000 por concepto de patrocinio para calzado, y los entrenadores de básquetbol reciben $1,000,000. El presupuesto de Sullivan para promociones asciende a $30,000,000. The Really Big Shoe dispone de una provisión limitada (4 litros, o sea, 4,000 centímetros cúbicos) de *flubber*, un compuesto raro y costoso que se utiliza en la fabricación del calzado atlético de promoción. Cada par de zapatos para básquetbol requiere 3 cc de flubber y cada par de zapatos de fútbol requiere 1 cc. Sullivan desea patrocinar el mayor número de equipos de básquetbol y fútbol que sus recursos le permitan.
   - **a.** Formule un conjunto de ecuaciones lineales para describir la función objetivo y las restricciones.
   - **b.** Utilice el análisis gráfico para encontrar la solución visual.
   - **c.** ¿Cuál es el número máximo de cada tipo de equipo que The Really Big Shoe podrá patrocinar?
2. Un estudiante de administración de empresas del Nowledge College necesita completar un total de 65 cursos para graduarse. El número de cursos de administración tendrá que ser mayor que o igual a 23. El número de cursos ajenos al área de administración deberá ser mayor que o igual a 20. El curso de administración promedio requiere un libro de texto que cuesta $60 e implica 120 horas de estudio. Los cursos ajenos al área de administración requieren un libro de texto

que cuesta $24 e implican 200 horas de estudio. El estudiante dispone de un presupuesto de $3,000 para libros.

a. Formule un conjunto de ecuaciones lineales para describir la función objetivo y las restricciones.
b. Utilice el análisis gráfico para encontrar la solución visual.
c. ¿Con qué combinación de cursos de administración y otros ajenos a esta área se minimizaría el número total de horas de estudio?
d. Identifique las variables de holgura o superávit.

3. En el problema 2, suponga que el objetivo es minimizar el costo de los libros y que el tiempo total de estudio del alumno se limita a 12,600 horas.

a. Aplique el análisis gráfico para determinar la combinación de cursos que permite minimizar el costo total de los libros.
b. Identifique las variables de holgura o superávit.

4. Mile-High Microbrewery fabrica una cerveza clara y una oscura. Mile-High dispone de una provisión limitada de cebada, tiene capacidad de embotellamiento limitada y un mercado también limitado para su cerveza clara. Las utilidades son de $0.20 por cada botella de cerveza clara y $0.50 por cada botella de cerveza oscura.

a. La siguiente tabla muestra la disponibilidad de recursos en la Mile-High Microbrewery. Aplique el método gráfico de programación lineal para maximizar las utilidades. ¿Cuántas botellas de cada producto deberán fabricarse cada mes?

	Producto		
Recurso	**Cerveza clara (x_1)**	**Cerveza oscura (x_2)**	**Disponibilidad de recursos (por mes)**
Cebada	0.1 gramos	0.6 gramos	2,000 gramos
Embotellado	1 botella	1 botella	6,000 botellas
Mercado	1 botella	—	4,000 botellas

b. Identifique las restricciones con holgura o superávit.

5. El gerente de la planta de producción de un fabricante de tubos de plástico tiene la opción de utilizar dos rutas diferentes para la fabricación de un tipo de tubo de plástico en particular. La ruta 1 utiliza la extrusora A y la ruta 2 utiliza la extrusora B. Ambas rutas requieren el mismo proceso de fusión. La siguiente tabla muestra los requisitos de tiempo y las capacidades de estos procesos.

	Requisitos de tiempo (h/100 pies)		
Proceso	**Ruta 1**	**Ruta 2**	**Capacidad (h)**
Fusión	1	1	45
Extrusora A	3	0	90
Extrusora B	0	1	160

Cada 100 pies de tubo procesado en la ruta 1 utilizan 5 libras de materias primas, mientras que cada 100 pies de tubo producidos en la ruta 2 utilizan solamente 4 libras. Esta diferencia es el resultado de las diferentes tasas de desperdicio de cada una de las máquinas de extrusión. En consecuencia, la utilidad por 100 pies de tubo procesados en la ruta 1 es de $60 y en la ruta 2 es de $80. Hay en total 200 libras de materias primas disponibles.

a. Formule un conjunto de ecuaciones lineales para describir la función objetivo y las restricciones.
b. Aplique el análisis gráfico para encontrar la solución visual.
c. ¿Cuál es la utilidad máxima?

6. Un fabricante de colorantes para telas puede utilizar dos rutas de procesamiento diferentes para elaborar un tipo particular de colorante. La ruta 1 utiliza la prensa secadora A y la ruta 2 usa la prensa secadora B. Ambas rutas requieren la utilización de la misma tina de mezclado para revolver los ingredientes químicos del colorante antes del secado. La siguiente tabla muestra los requisitos de tiempo y las capacidades de estos procesos:

	Requisitos de tiempo (h/kg)		
Proceso	**Ruta 1**	**Ruta 2**	**Capacidad (h)**
Mezclado	2	2	54
Secadora A	6	0	120
Secadora B	0	8	180

Cada kilogramo de colorante procesado en la ruta 1 requiere 20 litros de productos químicos, en tanto que cada kilogramo de tinte procesado en la ruta 2 utiliza solamente 15 litros. La diferencia se debe a las distintas tasas de producción de las prensas secadoras. Por consiguiente, la utilidad por cada kilogramo procesado en la ruta 1 es de $50 y en la ruta 2 es de $65. Se dispone de un total de 450 litros de ingredientes químicos.

a. Formule las restricciones y la función objetivo para maximizar las utilidades.
b. Aplique el método gráfico de programación lineal para encontrar la solución óptima.
c. Identifique las restricciones con holgura o superávit.

7. La empresa Trim-Look Company fabrica varias líneas de faldas, vestidos y chaquetas deportivas. Recientemente, una consultora propuso que la compañía evaluara de nuevo su línea South Islander y asignara sus recursos a productos capaces de maximizar la contribución a las utilidades y a los gastos generales. Cada producto requiere la misma tela de poliéster y tiene que pasar por los departamentos de corte y de costura. Se recopilaron los siguientes datos para este estudio:

	Tiempo de procesamiento (h)		
Producto	**Corte**	**Costura**	**Material (yd)**
Falda	1	1	1
Vestido	3	4	1
Chaqueta deportiva	4	6	4

El departamento de corte dispone de 100 horas de capacidad, el de costura tiene 180 horas de capacidad y cuenta con 60 yardas de material. Cada falda contribuye con $5 a las utilidades y los gastos generales; cada vestido, con $17; y cada chaqueta deportiva, con $30.

a. Especifique la función objetivo y las restricciones para este problema.
b. Utilice algún programa de computadora para resolver el problema.

8. Reflexione más a fondo en el problema 7.
a. ¿Cuánto estaría usted dispuesto a pagar por una hora extra de tiempo para la operación de corte? ¿Y por una hora extra para la operación de costura? ¿Y por una yarda adicional de material? Explique su respuesta a cada pregunta.
b. Determine el rango de valores del lado derecho dentro del cual el precio sombra sería válido para la restricción de corte y para la restricción de material.

9. Polly Astaire fabrica ropa fina para hombres altos y corpulentos. Hace unos cuantos años, Astaire incursionó en el mercado de ropa deportiva con su línea Sunset de shorts, pantalones y camisas. La gerencia desea fabricar la cantidad adecuada de cada producto para maximizar las utilidades. La ruta de fabricación de cada tipo de prenda pasa por dos departamentos, A y B. A continuación se presentan los datos pertinentes para cada producto.

	Tiempo de procesamiento (h)		
Producto	**Departamento A**	**Departamento B**	**Material (yd)**
Camisas	2	1	2
Shorts	2	3	1
Pantalones	3	4	4

El departamento A tiene 120 horas de capacidad, el departamento B tiene 160 horas de capacidad y se dispone de 90 yardas de material. Cada camisa contribuye con $10 a las utilidades y los gastos generales; cada par de shorts, con $10; y cada par de pantalones, con $23.

a. Especifique la función objetivo y las restricciones para este problema.
b. Utilice un programa de computadora para resolver el problema.
c. ¿Cuánto debe estar dispuesta a pagar la empresa Astaire por una hora adicional de capacidad en el departamento A? ¿Y por una hora adicional de capacidad en el departamento B? ¿Dentro de qué rango de valores del lado derecho son válidos estos precios sombra?

10. Butterfield Company produce diversos cuchillos ce caza. Cada cuchillo se procesa en cuatro máquinas. A continuación se presentan los tiempos de procesamiento requeridos. Las capacidades de las máquinas (en horas) son: 1,500 para la máquina 1; 1,400 para la máquina 2; 1,600 para la máquina 3, y 1,500 para la máquina 4.

	Tiempo de procesamiento (h)			
Cuchillo	**Máquina 1**	**Máquina 2**	**Máquina 3**	**Máquina 4**
A	0.05	0.10	0.15	0.05
B	0.15	0.10	0.05	0.05
C	0.20	0.05	0.10	0.20
D	0.15	0.10	0.10	0.10
E	0.05	0.10	0.10	0.05

Cada producto contiene una cantidad diferente de dos materias primas básicas. La materia prima 1 cuesta $0.50 por onza y la materia prima 2 cuesta $1.50 por onza. Se dispone de 75,000 onzas de la materia prima 1 y 100,000 onzas de la materia prima 2.

	Requisitos (oz/unidad)		
Cuchillo	**Materia prima 1**	**Materia prima 2**	**Precio de venta ($/unidad)**
A	4	2	15.00
B	6	8	25.50
C	1	3	14.00
D	2	5	19.50
E	6	10	27.00

a. Si el objetivo es maximizar las utilidades, especifique la función objetivo y las restricciones correspondientes a este problema. Suponga que los costos de mano de obra son insignificantes.
b. Resuelva el problema con un programa de computadora.

11. Nutmeg Corporation elabora cinco productos diferentes a base de nueces simples y mezcladas: el paquete de almendras, el paquete de nueces, el paquete gourmet, el paquete fantasía y el paquete económico. Cada producto (individual o en mezcla) se vende en latas de una libra. La empresa compra almendras a razón de $0.80 por libra, nueces a $0.60 por libra y cacahuates a $0.35 por libra. Los cacahuates se emplean para completar todas las mezclas y la compañía tiene una provisión ilimitada de ellos. El suministro de almendras y nueces es limitado. La compañía puede comprar hasta 3,000 libras de almendras y 2,000 libras de nueces. A continuación se presentan los requisitos de recursos y los pronósticos de demanda de los productos. Utilice algún programa de computadora para resolver este problema.

	Requisitos mínimos (%)		
Producto	**Almendras**	**Nueces**	**Demanda (latas)**
Almendras	100	—	1,250
Nueces	—	100	750
Gourmet	45	45	1,000
Fantasía	30	30	500
Económico	20	20	1,500

a. ¿Con qué mezcla se minimiza el costo que implica satisfacer la demanda de los cinco productos?
b. ¿Cuál sería el impacto en la mezcla de productos si sólo hubiera 2,000 libras de cacahuates disponibles?
c. Si el paquete gourmet requiriera 50% de almendras y 50% de nueces, ¿qué efecto produciría en la mezcla de productos?
d. ¿Cuál sería el impacto en la mezcla de productos si la demanda del paquete fantasía se duplicara?

12. Un problema que preocupa con frecuencia a los gerentes de industrias procesadoras es el proceso de mezclado. Considere la tarea a la que deberá enfrentarse Lisa Rankin, gerente de compras de una compañía fabricante de aditivos especiales. Ella tiene que determinar la cantidad apropiada de cada una de las materias primas que necesitará comprar para la producción de un producto determinado. Cada galón de producto terminado deberá tener un punto de combustión de 220°F, cuando menos. Además, el contenido gamma de ese producto (que produce contaminación de hidrocarburos) no puede ser mayor del 6% del volumen, y el contenido zeta del producto (un agente para limpiar las partes móviles del interior de los motores) deberá constituir por lo menos el 12% por volumen. Hay tres materias primas disponibles. Cada una de ellas tiene especificaciones diferentes en términos de las siguientes características:

	Materia prima		
Característica	**A**	**B**	**C**
Punto de combustión (°F)	200	180	280
Contenido gamma (%)	4	3	10
Contenido zeta (%)	20	10	8

La materia prima A cuesta $0.60 por galón y las materias primas B y C cuestan $0.40 y $0.50 por galón, respectivamente. La gerente de compras se ha propuesto minimizar el costo de las materias primas por cada galón de producto. Utilice la programación lineal para encontrar la proporción óptima de cada materia prima en un galón del producto terminado. (*Sugerencia*: Exprese las variables de decisión en términos de fracciones de galón; la suma de todas las fracciones deberá ser igual a 1.00).

13. Una pequeña empresa manufacturera fabrica tres tipos básicos de componentes que utilizan otras compañías. Cada componente se procesa en tres máquinas. A continuación se presentan los tiempos de procesamiento. Las capacidades totales (en horas) son: 1,600 para la máquina 1; 1,400 para la máquina 2, y 1,500 para la máquina 3.

	Tiempo de procesamiento (hr)		
Componente	**Máquina 1**	**Máquina 2**	**Máquina 3**
A	0.25	0.10	0.05
B	0.20	0.15	0.10
C	0.10	0.05	0.15

Cada componente contiene una cantidad diferente de dos materias primas básicas. La materia prima 1 cuesta $0.20 por onza y la materia prima 2 cuesta $0.35 por onza. Actualmente, la empresa dispone de 200,000 onzas de la materia prima 1 y 85,000 onzas de la materia prima 2.

	Requisito (oz/unidad)		
Componente	**Materia prima 1**	**Materia prima 2**	**Precio de venta ($/unidad)**
A	32	12	40
B	26	16	28
C	19	9	24

a. Suponga que la compañía debe fabricar por lo menos 1,200 unidades del componente B, que los costos de mano de obra son insignificantes y que el objetivo es maximizar las utilidades. Especifique la función objetivo y las restricciones correspondientes a este problema.

b. Utilice algún programa de computadora para resolver el problema.

14. El siguiente es un modelo de programación lineal para analizar la mezcla de productos de Maxine's Hat Company, una compañía que fabrica sombreros en tres estilos:

Maximice: $\$7x_1 + \$5x_2 + \$2x_3 = Z$

Sujeto a:

$3x_1 + 5x_2 + x_3 \leq 150$ (tiempo de máquina A)

$5x_1 + 3x_2 + 2x_3 \leq 100$ (tiempo de máquina B)

$x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 160$ (tiempo de máquina C)

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0,$ y $x_3 \geq 0$

Los resultados de OM Explorer que se presentan en la figura E.10 muestran la solución óptima del problema. Considere cada una de las siguientes afirmaciones en forma independiente y responda si es verdadera o falsa. Explique cada respuesta.

a. Si el precio del sombrero 3 se incrementara a $2.50, éste formaría parte de la mezcla de productos óptima.

b. La capacidad de la máquina C puede reducirse a 65 horas sin afectar las utilidades.

c. Si la máquina A tuviera una capacidad de 170 horas, no habría ningún cambio en la producción total.

15. Washington Chemical Company fabrica productos químicos y solventes para la industria de adhesivos. El proceso de producción está dividido en varias "fábricas enfocadas", cada una de las cuales elabora un conjunto específico de productos. Ha llegado el momento de preparar el plan de producción para una de esas fábricas enfocadas. Esta fábrica en particular elabora cinco productos que tienen que pasar tanto por el reactor como por el separador. Cada producto requiere también cierta combinación de materias primas. Los datos de producción se presentan en la tabla E.2.

Washington Chemical Company tiene vigente un contrato a largo plazo con un importante fabricante de adhesivos que requiere una producción anual de 3,000 libras de los productos 3 y 4. Estos productos podrían fabricarse en mayor cantidad porque la demanda actual es superior a la capacidad de producción.

a. Determine la cantidad de producción anual de cada producto que permita maximizar la contribución a las utilidades. Suponga que la compañía puede vender todo lo que produzca.

b. Especifique el tamaño del lote de cada producto.

Solución

Rótulo de la variable	Valor de la variable	Coeficiente original	Sensibilidad del coeficiente
X1	3.1250	7.0000	0
X2	28.1250	5.0000	0
X3	0.0000	2.0000	0.7500

Rótulo de la restricción	RHV original	Holgura o superávit	Precio sombra
Máquina A	150	0	0.2500
Máquina B	100	0	1.2500
Máquina C	160	100.6250	0

Valor de la función objetivo: 162.5

Análisis de sensibilidad y rangos

Coeficientes de la función objetivo

Rótulo de la variable	Límite Inferior	Coeficiente original	Límite superior
X1	5.2857	7	8.3333
X2	4.2000	5	11.6667
X3	Sin límite	2	2.75

Valores del lado derecho

Rótulo de la restricción	Límite inferior	Valor original	Límite superior
Extrusión	60	150	166.6667
Embalaje	90	100	250
Aditivo	59.3750	160	Sin límite

FIGURA E.10 Resultados del *Solver* de OM Explorer para Maxine's Hat Company

16. Warwick Manufacturing Company fabrica palas para uso industrial y doméstico. Las ventas de las palas son estacionales y los clientes de Warwick se niegan a tener un inventario de palas durante los periodos en que las ventas son flojas. En otras palabras, los clientes desean minimizar su inventario, exigen la entrega de mercancía de acuerdo con sus programas y no aceptan pedidos atrasados.

Warwick emplea trabajadores manuales no calificados, que necesitan sólo una capacitación muy elemental. La producción de 1,000 palas cuesta $3,500 en tiempo regular y $3,700 en tiempo extra. Estas cantidades incluyen los materiales, que representan más del 85% del costo. El tiempo extra se limita a la producción de 15,000 palas por trimestre. Además, la empresa puede recurrir a subcontratistas, al costo de $4,200 por cada millar de palas, pero el contrato colectivo de trabajo de Warwick restringe este tipo de producción a 5,000 palas por trimestre.

El nivel actual de inventario es de 30,000 palas, y la gerencia desea llegar al final del año con ese mismo nivel. El mantenimiento de un inventario de 1,000 palas cuesta $280 por trimestre. El pronóstico de demanda anual más reciente muestra los siguientes datos:

Trimestre	Demanda
1	70,000
2	150,000
3	320,000
4	100,000
Totales	640,000

Construya un modelo de programación lineal para determinar el *mejor* plan de capacidad de tiempo regular. Suponga lo siguiente:

- La empresa tiene ahora 30 trabajadores y la gerencia desea seguir teniendo el mismo número en el trimestre 4.

TABLA E.2 Datos de producción para Washington Chemical

	Producto					
Recurso	1	2	3	4	5	Total de recursos disponibles
Reactor (h/lb)	0.05	0.10	0.80	0.57	0.15	7,500 hr*
Separador (h/lb)	0.20	0.02	0.20	0.09	0.30	7,500 hr*
Materia prima 1 (lb)	0.20	0.50	0.10	0.40	0.18	10,000 lb
Materia prima 2 (lb)	—	0.70	—	0.50	—	6,000 lb
Materia prima 3 (lb)	0.10	0.20	0.40	—	—	7,000 lb
Contribución a las utilidades ($/lb)	4.00	7.00	3.50	4.00	5.70	

*El tiempo total disponible se ha ajustado para tomar en cuenta las operaciones de preparación. Los cinco productos tienen una secuencia prescrita, en virtud del costo que implican los cambios que deben realizarse para pasar de la producción de uno a otro. La compañía tiene un ciclo de 35 días (es decir, 10 cambios por año por producto). En consecuencia, el tiempo correspondiente a esos cambios se ha deducido del tiempo total disponible para estas máquinas.

- Cada trabajador puede producir 4,000 palas por trimestre.
- El costo de contratar a un trabajador es de $1,000 y de despedir a un trabajador es de $600.

17. La gerencia de Warwick Manufacturing Company está dispuesta a ofrecer cambios de precios a sus clientes como incentivo para que compren palas antes de las temporadas tradicionales. El personal de ventas y marketing de Warwick estima que la demanda de palas resultante de los cambios de precios sería la siguiente:

Trimestre	Demanda	Demanda original
1	120,000	70,000
2	180,000	150,000
3	180,000	320,000
4	160,000	100,000
Totales	640,000	640,000

Calcule el plan de producción óptimo (con inclusión del plan de personal para la fuerza de trabajo) de acuerdo con el nuevo programa de demanda. Compárelo con el plan de producción óptimo que se determinó según el programa de demanda original. Evalúe los efectos potenciales de esta forma de administración de la demanda.

18. Bull Grin Company produce un suplemento nutritivo que forma parte de los alimentos para animales que fabrican diversas compañías. Las ventas son estacionales y los clientes de Bull Grin se niegan a acumular inventarios del suplemento durante los periodos de pocas ventas. En otras palabras, los clientes desean minimizar sus inventarios, insisten en que la mercancía se entregue de acuerdo con sus programas y no aceptan pedidos atrasados.

Bull Grin emplea trabajadores manuales no calificados, que requieren poca o ninguna capacitación. La producción de 1,000 libras de suplemento cuesta $810 si se realiza en tiempo regular y $900 en tiempo extra. En estas sumas están incluidos los materiales, que representan más del 80% del costo. El tiempo extra se limita a la producción de 30,000 libras por trimestre. Además, se puede obtener la ayuda de subcontratistas a razón de $1,100 por cada 1,000 libras, pero en cada trimestre solamente es posible producir 10,000 libras de esta manera.

El nivel actual de inventario es de 40,000 libras, y la gerencia desea terminar el año con ese mismo nivel. El mantenimiento en inventario de 1,000 libras de suplemento alimenticio cuesta $110 por trimestre. A continuación se presenta el pronóstico anual más reciente.

Trimestre	Demanda (lb)
1	100,000
2	410,000
3	770,000
4	440,000
Total	1,720,000

La empresa tiene actualmente 180 trabajadores, y la gerencia desea continuar con ese mismo número en el trimestre 4. Cada trabajador es capaz de producir 2,000 libras por trimestre, por lo que la producción en tiempo regular cuesta $1,620 por trabajador. A los trabajadores ociosos se les tiene que pagar esa misma tarifa. Contratar a un trabajador cuesta $1,000 y despedir a un trabajador cuesta $600.

Formule la función objetivo y las restricciones apropiadas para describir este problema de planificación de producción, después que haya definido completamente las variables de decisión.

19. Inside Traders, Inc. invierte en varios tipos de valores. La empresa cuenta con $5 millones para invertir de inmediato y desea maximizar los intereses que produzca dicha inversión durante el año próximo. En la siguiente tabla se presentan cuatro posibilidades de inversión. Para estructurar mejor la cartera de inversión, la junta directiva ha especificado que por lo menos el 40% de la inversión deberá realizarse en bonos corporativos y acciones ordinarias. Además, no se deberá dedicar más del 20% de la inversión a bienes raíces.

Inversión	Interés que se espera obtener (%)
Bonos corporativos	8.5
Acciones ordinarias	9.0
Certificados en oro	10.0
Bienes raíces	13.0

Formule la función objetivo y las restricciones de este problema de inversión de cartera una vez que haya definido cuidadosamente las variables de decisión.

20. JPMorgan Chase tiene un problema de programación. Los operadores trabajan turnos de ocho horas y pueden iniciar sus actividades a medianoche, a las 4 A.M., a las 8 A.M., a mediodía, a las 4 P.M. o a las 8 P.M. Los operadores se necesitan para satisfacer el siguiente patrón de demanda. Formule un modelo de programación lineal para satisfacer los requisitos de demanda con el menor número posible de operadores.

Periodo	Operadores requeridos
Medianoche a 4 A.M.	4
4 A.M. a 8 P.M.	6
8 A.M. a mediodía	90
Mediodía a 4 P.M.	85
4 P.M. a 8 P.M.	55
8 P.M. a medianoche	20

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asim, R., E. De Falomir y L. Lasdon, "An Optimization-Based Decision Support System for a Product-Mix Problem", *Interfaces*, volumen 12, número 2, 1982, pp. 26–33.

Bonini, Charles P., Warren H. Hausman y Harold Bierman, Jr., *Quantitative Analysis for Management*, 9a. edición, Chicago, Irwin, 1997.

Cook, Thomas M. y Robert A. Russell, *Introduction to Management Sciences,* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1993.

Eppen, G. D., F. J. Gould, C. P. Schmidt, Jeffrey H. Moore y Larry R. Weatherford, *Introductory Management Science: Decision Modeling with Spreadsheets*, 5a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1998.

Fourer, Robert, "Software Survey: Linear Programming", *OR/MS Today,* abril de 1997, pp. 54–63.

Greenberg, H. J., "How to Analyze the Results of Linear Programs—Part 2: Price Interpretation", *Interfaces*, volumen 23, número 5, 1993, pp. 97–114.

Hess, Rick, *Managerial Spreadsheet Modeling and Analysis,* Chicago, Irwin, 1997.

Jayaraman, V., R. Srivastava y W. C. Benton, "Supplier Selection and Order Quantity Allocation", *Journal of Supply Chain Management*, volumen 35, número 2, 1999, pp. 50–58.

Krajewski, L. J. y H. E. Thompson, *Management Science: Quantitative Methods in Context,* Nueva York, John Wiley & Sons, 1981.

Markland, Robert E. y James R. Sweigart, *Quantitative Methods: Applications to Managerial Decision Making,* Nueva York, John Wiley & Sons, 1987.

Perry, C. y K. C. Crellin, "The Precise Management Meaning of a Shadow Price", *Interfaces*, volumen 12, número 2, 1982, pp. 61–63.

Ragsdale, Cliff T. y Rick Hess, *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis; A Practical Introduction to Management Science*, 2a. edición, Cincinnati, Ohio, South-Western, 1998.

Render, B., R.M. Stair y Michael Hanna, *Quantitative Analysis for Management*, 8a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2003.

Taylor, Bernard W., III, *Introduction to Management Science,* Needham Heights, MA, Allyn & Bacon, 1990.

Verma, Rohit, "My Operations Management Students Love Linear Programming", *Decision Line,* julio de 1997, pp. 9–12.

Winston, Wayne L., S. Christian Albright y Mark Broadie, *Practical Management Science: Spreadsheet Modeling and Applications,* Pacific Grove, CA, Duxbury, 1996.

15

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Explicar cómo los sistemas ERP pueden promover una mejor planificación de recursos.
2. Explicar por qué el concepto de demanda dependiente es fundamental para la planificación de recursos.
3. Describir un programa maestro de producción (MPS) y la información que proporciona.
4. Crear un MPS y calcular las cantidades disponibles para promesa.
5. Analizar la lógica de un sistema de planificación de requerimientos de materiales (MRP).
6. Identificar las órdenes de producción y compra necesarias para los artículos que tienen demanda dependiente.
7. Describir cómo los sistemas Tambor-Amortiguador-Cuerda implementan los principios de la teoría de restricciones (TOC) en la planificación de recursos.
8. Aplicar los principios de la MRP a la provisión de servicios y distribución de inventarios.



El hotel Four Points Sheraton, a un lado de la bahía Corio en Geelong Victoria, Australia. Este hotel es uno de los muchos establecimientos de Starwood Hotels and Resorts Worldwide que enfrenta complejos problemas de planificación de recursos. Sin embargo el sistema de perfiles de clientes permite a Starwood ofrecer una experiencia personalizada a cada huésped.

CAPÍTULO 15

Planificación de recursos

STARWOOD

La planificación de recursos en una compañía como Starwood Hotels and Resorts Worldwide es compleja, no sólo por la magnitud de la empresa, sino también por la gran diversidad de sus instalaciones. Starwood administra a los empleados, equipo y proveedores de sus 750 hoteles de todo el mundo para garantizar que las necesidades y expectativas de todos y cada uno de los clientes se satisfagan. Como apoyo para pronosticar estas necesidades, Starwood usa ahora un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, del inglés enterprise resource planning*) desarrollado por Oracle, una compañía de software con sede en California. El sistema de Oracle incluye un sistema de reservaciones electrónicas que hace un perfil de las preferencias de los huéspedes, lo cual permite al personal ofrecerles un mejor servicio cada vez que se hospedan en un hotel Starwood: preferencia por almohadas de plumas, en lugar de hule espuma, ciertos tipos de periódicos, suites o habitaciones regulares, habitaciones en los pisos inferiores en contraposición a los pisos superiores, e incluso adaptaciones para personas discapacitadas o con necesidades físicas especiales. El perfil se usa en el momento en que se recibe la reservación para calcular los distintos tipos de habitaciones y establecimientos, periódicos, almohadas y otros recursos que cada instalación de Starwood necesita. El sistema de perfiles de clientes también permite a Starwood ofrecer una experiencia "personalizada" a cada huésped.*

El sistema de reservaciones de Starwood también está enlazado con un sistema de administración de la propiedad en cada hotel. Este sistema programa, por ejemplo, el horario de trabajo de los empleados del hotel y proyecta la cantidad de alimentos y bebidas que necesita el departamento de servicio de alimentos del hotel. Starwood tiene conocimiento detallado, habitación por habitación, del nivel de recursos (empleados, alimentos, toallas y otras cosas por estilo) que necesitará, en cualquier momento.



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski**

Se realizan proyecciones pormenorizadas de estas cantidades que los gerentes ajustan después para alinearlas con los planes financieros de la compañía. Como los gerentes de cada hotel tienen acceso a las tasas de ocupación con semanas de anticipación, pueden planear mejor estas necesidades.

El sistema ERP de Starwood también cuenta con una base de datos centralizada que contiene información de contabilidad, incluida la nómina de personal, información sobre cuentas por pagar, el libro mayor general de la compañía y el balance general, así como los estados de resultados de sus diferentes hoteles. En virtud de que el sistema de Oracle es muy extenso y abarca muchas actividades funcionales de Starwood, la compañía lo fue integrando poco a poco con sus sistemas de información anteriores.

Fuente: David Baum, "Setting the Standard for Service", *Profit Magazine* (1999); www.oracle.com (actualizado en 2003); www.starwood.com (2005).

Starwood demuestra que las compañías pueden obtener una ventaja competitiva si utilizan un sistema de información eficaz que les ayude a planificar los recursos. Las compañías deben asegurarse de que todos los recursos que necesitan para producir servicios o productos terminados estén disponibles en el momento oportuno. Si no es así, la empresa se arriesga a perder a su clientela. En el caso de un fabricante, esta tarea puede significar llevar el control de miles de subunidades, componentes y materias primas, así como de la capacidad del equipo clave. Si se trata de un proveedor de servicios, dicha tarea puede implicar dar seguimiento a numerosos suministros y programar cuidadosamente los requerimientos de tiempo y capacidad de los diferentes empleados y tipos de equipo.

Este capítulo inicia con una descripción de los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), que se han convertido en una valiosa herramienta para la planificación de recursos, entre otras cosas. A continuación se examinan varios métodos para la planificación de recursos, que incluyen la planificación de requerimientos de materiales (MRP) (del inglés *material requirements planning*), el sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda (DBR, del inglés *Drum-Buffer-Rope*) y los sistemas esbeltos (JIT, del inglés *just in time*). Debido a que en el capítulo 9 se abordó el tema de los sistemas esbeltos, ahora se procederá a demostrar cómo los proveedores de servicios, como Starwood, implementan la planificación de recursos. Toda la sección final del capítulo ilustra cómo los proveedores de servicios administran sus suministros, recursos humanos, equipo y recursos financieros.

PLANIFICACIÓN DE RECURSOS EN LA ORGANIZACIÓN

planificación de recursos
Es un proceso que toma los planes de ventas y operaciones; procesa la información sobre los estándares de tiempo, rutas y de otro tipo con respecto a cómo se producen los servicios y productos, y entonces planifica los requerimientos de insumos.

La **planificación de recursos** es una de las partes medulares de toda organización, que afecta a todas las áreas funcionales de la empresa. Toma los planes de ventas y operaciones; procesa la información sobre los estándares de tiempo, rutas y de otro tipo con respecto a cómo se producen los servicios y productos, y entonces planifica los requerimientos de insumos. También puede crear informes para los gerentes de las principales áreas funcionales de la empresa, como recursos humanos, compras, ventas, marketing y finanzas y contabilidad. En esencia, la planificación de recursos es un proceso en sí mismo, que se analiza en relación con las prioridades competitivas de la empresa.

PLANIFICACIÓN DE RECURSOS DE LA EMPRESA

proceso empresarial
Proceso que abarca a toda la compañía y afecta a todas las áreas funcionales, unidades de negocios, regiones geográficas y líneas de productos.

sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP)
Sistemas de información grandes e integrados que sustentan a muchos procesos empresariales y satisfacen las necesidades de almacenamiento de datos.

Un **proceso empresarial** es un proceso que abarca a toda la compañía y afecta a todas las áreas funcionales, unidades de negocios, regiones geográficas y líneas de productos. Los **sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP)** son sistemas de información grandes e integrados que sustentan a muchos procesos empresariales y satisfacen las necesidades de almacenamiento de datos. En la actualidad, los sistemas ERP se usan en las organizaciones tradicionales, que tienen instalaciones físicas, como las empresas manufactureras, restaurantes, líneas de aviación, hospitales y hoteles, así como por compañías de Internet que dependen en gran medida de la conectividad Web para enlazarse con sus clientes y proveedores.

QUÉ HACE UN SISTEMA ERP

En virtud de que los sistemas ERP integran las áreas funcionales de la empresa, permiten a la organización visualizar sus operaciones como un todo, en vez de tener que compilar los fragmentos de información producidos por cada función y división. Por ejemplo, suponga que un fabricante

estadounidense de productos de telecomunicaciones tiene un sistema ERP y que su representante de ventas en Atenas necesita preparar una cotización para un cliente. Cuando el vendedor introduce información sobre las necesidades del cliente en una computadora portátil, el sistema ERP genera automáticamente un contrato formal, en griego, en el que se indican las especificaciones del producto, la fecha de entrega y el precio. Después de que el cliente acepta la cotización y accede a comprar el producto, el vendedor realiza una entrada y el sistema ERP verifica el límite de crédito del cliente y registra el pedido. En seguida, el sistema programa el envío del producto por la mejor ruta. Trabajando hacia atrás a partir de la fecha de entrega, reserva los materiales necesarios en inventario y determina cuándo debe expedirse una orden de compra a los proveedores, seguida de una orden de producción para la fábrica. A continuación, el sistema actualiza los pronósticos de ventas y producción de la compañía con el nuevo pedido y abona en la cuenta de nómina del representante de ventas la comisión correspondiente a la venta. Simultáneamente, la aplicación de contabilidad del sistema calcula el costo de fabricación del producto y su rentabilidad y refleja la transacción en los libros de cuentas por pagar y por cobrar de la empresa. Los balances generales divisional y corporativo se actualizan, lo mismo que los niveles de efectivo de la empresa. En resumen, el sistema soporta todos los procesos empresariales de la empresa antes y después de la venta.

CÓMO SE DISEÑAN LOS SISTEMAS ERP

El sistema ERP gira en orno de una sola base de datos integral que puede ponerse a disposición de toda la organización (o empresa). Por lo general, se generan contraseñas para ciertos empleados que les dan acceso a determinadas áreas del sistema. Tener una sola base de datos para toda la información de la compañía hace mucho más fácil para los gerentes dar seguimiento a todos los productos de la compañía, en todos los lugares y en todo momento. La base de datos recopila datos y los transmite a las distintas aplicaciones modulares (o suite) del sistema de software. A medida que se introduce nueva información, lo que se conoce como *transacción,* en alguna aplicación, la información relacionada se actualiza automáticamente en las demás aplicaciones, e incluso en las bases de datos de Finanzas y Contabilidad de la empresa, las de Recursos humanos y nómina, las de Ventas y clientes, etcétera. De este modo, el sistema ERP agiliza los flujos de datos en toda la organización y ofrece a los empleados acceso directo a un cúmulo de información sobre las operaciones en tiempo real. Este proceso elimina muchos de los problemas de coordinación entre las diferentes funciones que padecían los antiguos sistemas no integrados. La figura 15.1 muestra algunas de las aplicaciones típicas, con algunos subprocesos anidados en cada una de ellas. Algunas de las aplicaciones son para operaciones de trastienda, como manufactura y nómina, en tanto que otras son para operaciones de mostrador, como el servicio al cliente.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

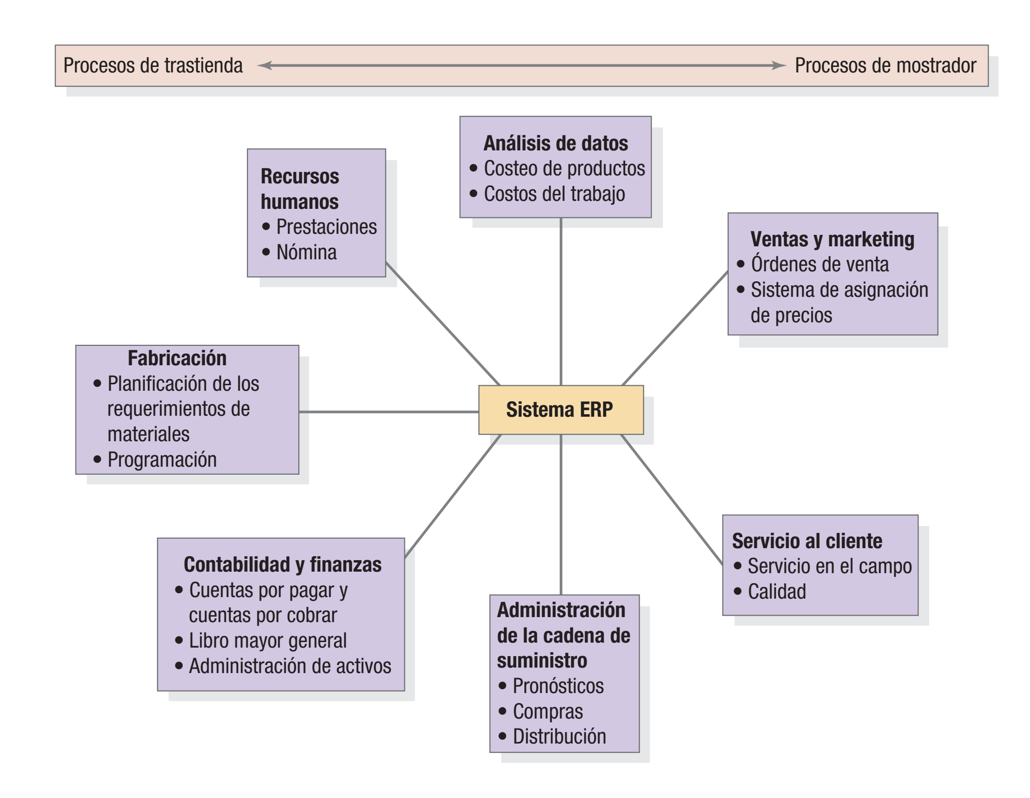


FIGURA 15.1

Módulos de aplicaciones del sistema ERP

Fuente: Se reproduce con autorización de Harvard Business School Press. Tomado de *Enterprise Resource Planning (ERP)*, de Scalle y Cotteleer, Boston, MA, 1999, No. 9-699-020. Copyright © 1999 Harvard Business School Publishing Corporation; todos los derechos reservados.

Amazon.com es una de las compañías que usa un sistema ERP. La aplicación de cadena de suministro del sistema de Amazon reviste especial importancia porque permite a Amazon.com vincular los pedidos de los clientes a los embarques de los almacenes y, en última instancia, a las órdenes de reabastecimiento que se envían a los proveedores. Otras aplicaciones son más importantes en otros tipos de empresas. Por ejemplo, las universidades ponen especial énfasis en las aplicaciones de Recursos humanos y de Finanzas y Contabilidad, y los fabricantes tienen interés en casi todos los grupos de aplicaciones. No todas las aplicaciones mencionadas en la figura 15.1 tienen que estar integradas en un sistema ERP, pero las que se omitan no compartirán su información con el sistema ERP. Sin embargo, hay veces en que los sistemas ERP se diseñan para interconectarse con los sistemas de información anteriores que tenía la compañía (llamados "sistemas heredados"). Starwood adoptó este enfoque, como se explicó en el caso de introducción.

El diseño de un sistema ERP exige que la compañía analice cuidadosamente sus principales procesos para poder tomar las decisiones que correspondan con respecto a la coordinación de los sistemas heredados y el nuevo software. En ocasiones, los procesos de la compañía deben rediseñarse para que ésta pueda disfrutar de las ventajas de un sistema de información integrado. Sin embargo, un estudio reciente mostró que las compañías obtienen los mayores beneficios cuando no complican las implementaciones de ERP, trabajan con un número reducido de proveedores y usan sistemas estandarizados en lugar de personalizarlos demasiado. De otro modo, las empresas pueden terminar gastando sumas excesivas de dinero en sistemas ERP cuyo uso es complejo y su administración, costosa.

La mayoría de lo sistemas ERP de la actualidad usan una interfaz gráfica de usuario, aunque los sistemas viejos, basados en texto y manejados con el teclado, siguen siendo populares por su fiabilidad y sencillez técnica. Los usuarios navegan a través de varias pantallas y menús. La capacitación (por ejemplo, durante la implementación del sistema ERP) se centra en estas pantallas y en enseñar a los usuarios a utilizarlas para desempeñar su trabajo. El principal proveedor de estos paquetes comerciales de ERP, listos para usarse, es SAP AG, una compañía alemana, seguida por Oracle, J. D. Edwards y Baan.

interoperabilidad

La capacidad de un programa de software para interaccionar con otros.

Los sistemas ERP han sufrido cambios considerables en los últimos años. Uno de ellos se relaciona con su **interoperabilidad,** es decir, la capacidad de un programa de software para interaccionar con otros. El intercambio electrónico de datos, un sistema que permite transferir datos por lotes entre compañías, ha sido una de las herramientas más socorridas en los últimos años. Sin embargo, el interés en la nueva economía del comercio electrónico va en aumento. Por ejemplo, el formato XML (acrónimo del inglés *Extensible Markup Language*) permite a las compañías estructurar e intercambiar información sin volver a escribir el software con el que ya cuenta ni tener que comprar nuevo software y hardware. XML tiene el potencial de reducir costos y permitir que la información se automatice y comparta en tiempo real como nunca antes porque aumenta la interoperabilidad de los sistemas. WebSphere MQ de IBM y MSMQ de Microsoft son dos sistemas basados en XML. El objetivo de todos estos métodos es automatizar, casi en tiempo real, el intercambio de información a través de las fronteras empresariales.

SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL PARA FABRICANTES

Los módulos de fabricación y administración de la cadena de suministro en la figura 15.1 se relacionan con la planificación de recursos. Para entender la planificación de recursos es necesario comenzar con el concepto de *demanda dependiente,* que la distingue de las técnicas explicadas en el capítulo 12, "Administración de inventarios". En esta sección, se hablará del carácter de la demanda dependiente y después se identificarán tres sistemas básicos de planificación y control que se relacionan con ella.

DEMANDA DEPENDIENTE

Para ilustrar el concepto de demanda dependiente, se considerará el caso de una bicicleta Huffy producida para venderse en tiendas al detalle. La demanda de un producto final, como una bicicleta, se conoce como *demanda independiente* porque en ella influyen únicamente las condiciones del mercado y no el plan de producción de ningún otro tipo de bicicleta que Huffy mantiene en inventario. Huffy tiene que *pronosticar* esta demanda usando técnicas como las que explicaron en el capítulo 13, "Pronósticos". Sin embargo, Huffy también mantiene en su inventario muchos otros artículos, como manillares, pedales, cuadros y aros de rueda, que se utilizan en la fabricación de las bicicletas. Cada uno de esos artículos tiene una **demanda dependiente** porque la cantidad requerida varía de acuerdo con los planes de producción de otros elementos que se mantienen en el inventario de la empresa (bicicletas terminadas, en este caso). Por ejemplo, la demanda de cuadros, pedales y ruedas *depende* de la producción de las bicicletas completas. El área de operaciones puede *calcular* la demanda de los artículos que tienen demanda dependiente en cuanto se especifican los niveles de producción de las bicicletas en el plan de ventas y operaciones. Por ejemplo, se sabe que cada bicicleta requiere dos aros de rueda, por lo cual, si se desea fabricar

demanda dependiente

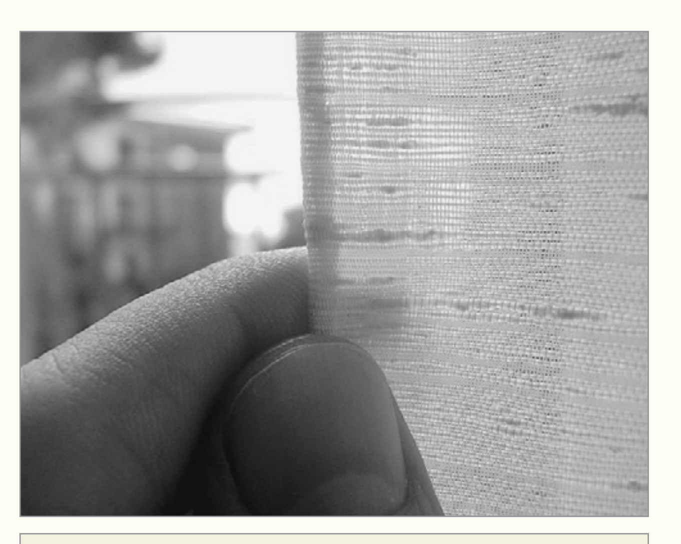
La demanda de un artículo que se presenta porque la cantidad requerida varía de acuerdo con los planes de producción de otros elementos que se mantienen en el inventario de la empresa.

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 15.1 ERP EN VF CORPORATION

¿Qué tienen en común los pantalones vaqueros Wrangler, Rustler y Lee, los pantalones caqui Timber Creek, la ropa interior Vanity Fair, la ropa para niños Healthtex, la ropa de trabajo industrial Bulwark, el equipo y ropa para actividades al aire libre The North Face, los trajes de baño Jantzen, la ropa deportiva Nautica y las mochilas JanSport? VF Corporation fabrica cada una de estas marcas. VF Corporation es una empresa que tiene 102 años de antigüedad, recibe ingresos por 6,000 millones de dólares al año y emplea a más de 53,000 trabajadores. También es la empresa productora de ropa más grande del mundo.

En los últimos años, las utilidades de VF Corporation han experimentado un sólido crecimiento. Sin embargo, en 1999 las ventas de la compañía estaban estancadas. En esa época, las 14 divisiones de VF funcionaban como entidades independientes, cada una con sus propios sistemas de compras, producción, marketing e informática. Los directivos de VF decidieron posteriormente reestructurar la compañía en cinco "coaliciones" integradas: pantalones vaqueros, prendas íntimas, ropa para jugar, tejidos y operaciones internacionales y marketing. Las coaliciones necesitaban trabajar en conjunto para aprovechar sus recursos comunes. Sin embargo, la planificación de recursos en una organización así de compleja planteaba retos mayúsculos.

Para establecer los vínculos cruciales de información que se necesitaban entre las coaliciones, VF decidió instalar una versión modificada del sistema R/3 ERP de SAP. Esta versión se diseñó específicamente para fabricantes de ropa y calzado. Sin embargo, VF también decidió implementar una estrategia de software de la mejor clase. Esta estrategia permitió a VF usar los mejores módulos de aplicaciones individuales para el sistema, producidos por cualquier proveedor, así como conservar algunos de los módulos de sus sistemas heredados. Por ejemplo, la parte medular del sistema sólo tiene cuatro módulos de R/3: administración de pedidos, planificación de producción, administración de materiales y finanzas. Sin embargo, cada coalición tenía sus aplicaciones favoritas de otros proveedores que había que incluir. La división de prendas íntimas usa WebPDM de Gerber para reducir los costos de diseño de sus productos, y Rhythm de i2 para optimizar la utilización de los materiales y el espacio de la línea de ensamblaje. La información de Rhythm se envía al módulo de planificación de producción de R/3. El área de pantalones vaqueros usa software de Logility para pronosticar la demanda de los clientes. Estos pronósticos de incorporan en los módulos de planificación de producción y finanzas del sistema R/3. El software personalizado de VF lleva el control de la producción en las plantas de la empresa con información suministrada por los módulos de planificación de producción, administración de pedidos y administración de materiales de R/3, y retransmite los datos al sistema R/3 para que los gerentes puedan afinar los planes de producción de la compañía. VF también ha desarrollado un sistema de "micromarketing" tan complejo que es capaz, por ejemplo, de pronosticar la demanda de una talla y color específicos de pantalones Wrangler que se venden a principios de verano en una tienda Wal-Mart específica.



Los datos sobre calidad son entradas importantes en el sistema ERP de VF. Dentro del sistema de planificación de requerimientos se inspeccionan los materiales como cuero, tela o forros para comprobar si se ajustan a las normas de calidad de VF y satisfacen las expectativas de los clientes.

No obstante lo anterior, los dos módulos clave que se relacionan con la planificación de recursos son los módulos de requerimientos de materiales y planificación de capacidad del sistema. El sistema de planificación de requerimientos de materiales está contenido en el módulo de planificación de producción y usa pronósticos del módulo de planificación de ventas y demanda de Logility para determinar las cantidades de compra y las fechas de entrega de los suministros y materiales, como cuero, tela o forros; la producción de bienes terminados, como pantalones vaqueros, mochilas o camisas; y la fabricación de otras unidades, como las suelas de los zapatos y las cañas de las botas. Esta información es útil para la planificación de producción y también para la planificación financiera. Por ejemplo, los días en que deben comprarse las cantidades de materiales planeadas pueden traducirse en la necesidad de fondos para pagar estas compras. El resultado también puede utilizarse en el módulo de planificación de capacidad, con lo cual se garantiza que las cinco coaliciones de VF cuenten con los empleados competentes y el equipo que necesitan para sacar adelante sus planes de producción.

Fuentes: Eryn Brown, "VF Corp. Changes Its Underware", *Fortune,* 7 de diciembre 1998, pp. 115–118; comunicado de prensa de VFC, "VF Corporation Launches First Large Scale Apparel Industry-Specific SAP Solution", 31 de mayo de 2000; www.hoover.com, August 2005; www.vfc.com, agosto de 2005.

1,000 bicicletas completas se necesitarán 1,000(2) = 2,000 aros de rueda. Con estos artículos no se necesitan técnicas de pronóstico.

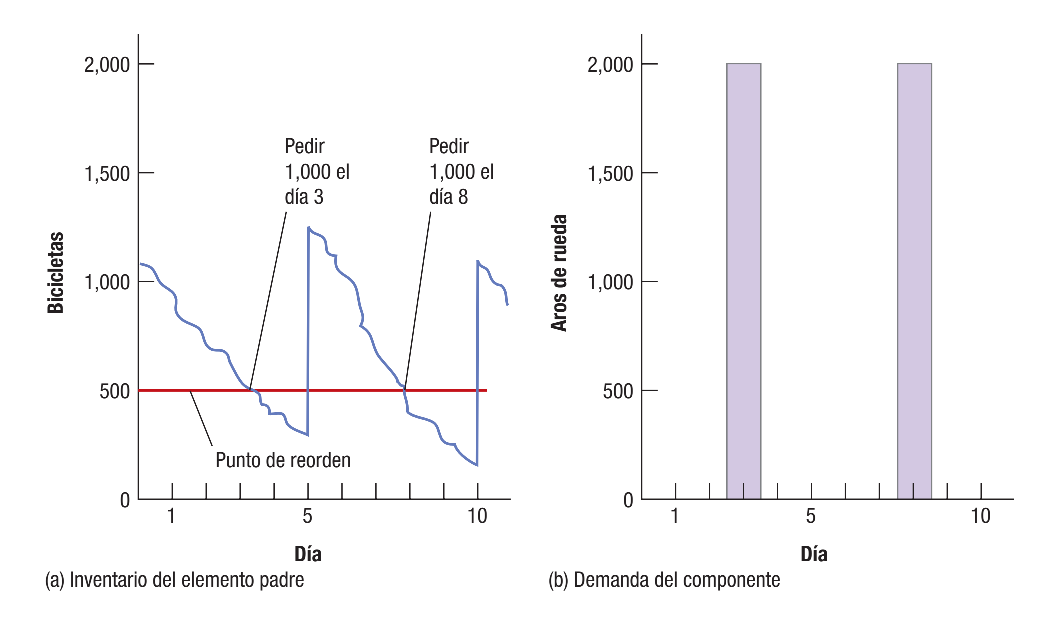
La bicicleta, o cualquier otro producto manufacturado a partir de uno o varios componentes, recibe el nombre de elemento **padre**. El aro de la rueda es un ejemplo de un **componente**, es decir, un elemento que pasa por una o varias operaciones para transformarse en o llegar a formar parte de uno o más elementos padres. El aro de rueda, por ejemplo, puede tener varios padres si se utiliza para fabricar más de un estilo de bicicleta. La relación padre-componente puede ocasionar patrones erráticos de demanda dependiente de los componentes. Suponga que cada vez que el inventario se reduce a 500 unidades (un punto de reorden), se hace un pedido de 1,000 bicicletas más, como se aprecia en la figura 15.2(a). Entonces, el supervisor de ensamblaje autoriza el retiro de 2,000 aros de rueda del inventario, además de otros componentes necesarios para el producto

padre
Cualquier producto manufacturado a partir de uno o varios componentes.

componente
Elemento que pasa por una o varias operaciones para transformarse en o llegar a formar parte de uno o más elementos padres.

FIGURA 15.2

Demanda dependiente irregular que resulta de la demanda independiente continua



terminado. La demanda de dichos aros se ilustra en la figura 15.2(b). De esta manera, a pesar de que la demanda de los clientes para la bicicleta terminada es continua y razonablemente uniforme, la demanda de producción de los aros de rueda es "irregular"; es decir, se presenta en forma esporádica y, por lo general, en cantidades relativamente grandes. Por consiguiente, las decisiones de producción para el ensamblaje de bicicletas, en las cuales se toman en cuenta los costos de ensamblaje de las bicicletas y las capacidades de ensamblaje proyectadas en el momento en que se toman las decisiones, determinan cuál será la demanda de los aros de rueda.

POSIBLES SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL

Por años, muchas compañías trataron de administrar la producción y los inventarios de demanda dependiente con sistemas de demanda independiente, pero el resultado rara vez era satisfactorio. Sin embargo, existen varios sistemas en la actualidad que reconocen y ayudan a las empresas a lidiar con la demanda dependiente. Los sistemas más prominentes que se usan ahora son: el sistema de planificación de requerimientos de materiales (MRP), el sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda (DBR) y los sistemas esbeltos. La figura 15.3 presenta las características distintivas de cada sistema.

Estos sistemas diferentes ayudan a las empresas a reducir sus niveles de inventario, utilizar mejor la mano de obra y las instalaciones y mejorar el servicio al cliente. Las ventajas de usarlos son las siguientes:

1. La demanda irregular de componentes a menudo da lugar a grandes errores de pronóstico. Sin embargo, resulta muy costoso compensar esos errores incrementando el inventario de seguridad de componentes que mantiene la empresa, sin ninguna garantía de que se pueda evitar el desabasto. Cuando la demanda dependiente de componentes puede calcularse con base en el programa de producción de sus elementos padres, se trazan planes mejores. La estrategia de producción en lotes pequeños de los sistemas esbeltos adopta un enfoque diferente porque nivela la demanda de componentes, eliminando, en esencia, la demanda irregular.
2. Los sistemas proporcionan a los gerentes información útil para planificar la capacidad y los recursos financieros. Por ejemplo, la información puede usarse para pronosticar cuándo no se po-

FIGURA 15.3

Características distintivas de MRP, DBR y sistemas esbeltos

MRP	DBR	Sistemas esbeltos
• Productos con muchos niveles de componentes y más personalización.	• La capacidad se aprovecha para controlar los cuellos de botella y el flujo de todo el sistema.	• Uso del sistema como catalizador del mejoramiento continuo
• Demanda irregular, a menudo con lotes de tamaño grande.	• Estructuras de productos más sencillas y productos más estandarizados.	• Lotes de tamaño pequeño, calidad uniforme, proveedores confiables y fuerza de trabajo flexible.
• Estrategias de fabricación por pedido, ensamblaje por pedido y fabricación para mantener en inventario.	• Estrategias de ensamblaje por pedido y fabricación para mantener en inventario.	• Estrategias de ensamblaje por pedido y fabricación para mantener en inventario.
• Volúmenes bajos e intermedios, con flujos flexibles.	• Volúmenes relativamente altos, con flujos flexibles en transición para convertirse en flujos lineales.	• Volúmenes altos y flujos lineales bien balanceados

drá disponer de componentes debido a déficit de capacidad, demoras en las entregas por parte de los proveedores y otros motivos similares. En términos de la planificación financiera, los programas de producción y las compras de materiales pueden traducirse en requerimientos de capacidad y en montos monetarios proyectados en los periodos en los cuales se van a presentar.

3. Los sistemas actualizan automáticamente la demanda dependiente y los programas de reabastecimiento del inventario de componentes cuando los programas de producción de los elementos padres cambian y ponen sobre alerta a los empleados siempre que se requiere alguna acción en relación con algún componente.

Cada sistema tiene sus propios méritos y es más eficaz en algunas situaciones que en otras. El sistema de MRP es el que tiene más tiempo de haberse desarrollado y se ocupa explícitamente de la demanda dependiente. Sobresale cuando la demanda dependiente es "más irregular", lo que quiere decir que ocurre de manera esporádica y la producción es en lotes de tamaño grande. A pesar de que puede utilizarse en un amplio espectro de entornos, MRP es mejor cuando el producto es complejo. Por complejidad del producto se entiende que éste tiene muchos componentes, los cuales tienen, a su vez, muchos componentes, y estos componentes también tienen sus propios componentes, y así sucesivamente. MRP también puede funcionar bien en entornos de producción personalizada o de fabricación por pedido.

El sistema DBR sobresale cuando la capacidad es un aspecto especialmente importante, los cuellos de botella son identificables y costosos y los conceptos de la teoría de restricciones (TOC, del inglés *theory of constraints*) pueden aplicarse de manera provechosa. El sistema DBR es más apropiado para una operación de ensamblaje por pedido o de fabricación para mantener en inventario, en la cual los volúmenes son más altos y productos más estandarizados. Es una forma de programar la producción para implementar los conceptos de la TOC con mayor eficacia de lo que permite la MRP.

Los sistemas esbeltos, como ya se señaló en el capítulo 9, funcionan bien con volúmenes altos, flujos lineales y una estrategia de fabricación para mantener en inventario o de ensamblaje por pedido. El entorno de manufactura puede hacerse más predecible. Por ejemplo, la calidad puede hacerse más uniforme, los lotes más pequeños y la fuerza de trabajo de la empresa, más flexible. En dicho entorno, los sistemas esbeltos pueden convertirse en catalizadores del mejoramiento continuo y, posiblemente, superar por mucho a los sistemas de MRP y DBR.

Por supuesto, los fabricantes pueden combinar los principios de varios sistemas. Por ejemplo, los sistemas esbeltos pueden usarse conjuntamente con la MRP para identificar las tasas promedio de demanda de los distintos componentes (un dato de entrada para determinar el número de contenedores kanban). Los sistemas de MRP se pueden beneficiar de los sistemas DBR cuando se trata de establecer el tamaño de los lotes y los puntos de equilibrio al determinar la ruta del proceso de producción y programar la entrega de materiales en el taller.

Como ya se ha dedicado un capítulo completo, el 9, a los sistemas esbeltos, los dos sistemas de planificación y control que se examinarán con más detalle aquí son MRP y DBR.

> PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES <

La **planificación de requerimientos de materiales (MRP)** es un sistema computarizado de información que se desarrolló específicamente para ayudar a los fabricantes a administrar el inventario de demanda dependiente y programar los pedidos de reabastecimiento. Los datos de entrada clave de un sistema MRP son: una base de datos con la lista de materiales, un programa maestro de producción y una base de datos con registros de inventario, como ilustra la figura 15.4. Con esta información, el sistema MRP identifica las medidas que deben adoptar los planificadores para que el programa no se retrase; por ejemplo, expedir nuevas órdenes de producción, ajustar cantidades de pedido y agilizar los pedidos atrasados.

Un sistema MRP traduce el programa maestro de producción y otras fuentes de demanda, como la demanda independiente de partes de repuesto y artículos de mantenimiento, en los requerimientos de todas las subunidades, componentes y materias primas que se necesitarán para producir los elementos padres requeridos. Este proceso se conoce como **explosión MRP** porque convierte los requisitos de varios productos finales en un *plan de requerimientos de materiales* en el cual se especifican los programas de reabastecimiento de todas las subunidades, componentes y materias primas que se necesitarán en la elaboración de los productos finales.

planificación de requerimientos de materiales (MRP)
Sistema computarizado de información desarrollado específicamente para ayudar a los fabricantes a administrar el inventario de demanda dependiente y programar los pedidos de reabastecimiento.

explosión MRP
Un proceso que convierte los requisitos de varios productos finales en un *plan de requerimientos de materiales* en el cual se especifican los programas de reabastecimiento de todas las subunidades, componentes y materias primas que se necesitarán en la elaboración de los productos finales.

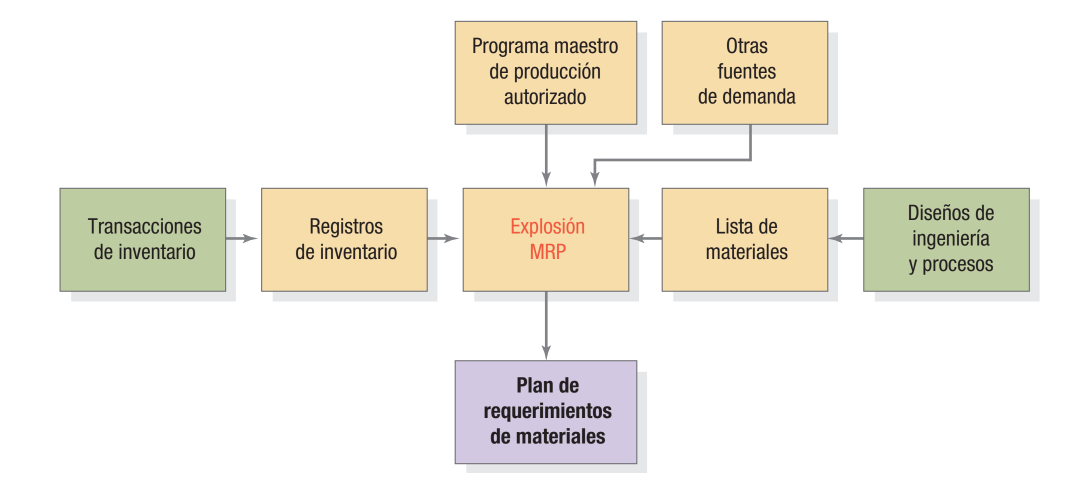
LISTA DE MATERIALES

El programa de reabastecimiento de un componente se determina a partir de los programas de producción de sus respectivos elementos padres. Por lo tanto, el sistema necesita información precisa sobre las relaciones padre-componente. La **lista de materiales (BOM)** (del ingles *bill of materials*) es un registro de todos los componentes de un artículo, las relaciones padre-componente y las cantidades de uso derivadas de los diseños de ingeniería y de los procesos. En la BOM

lista de materiales (BOM)
Registro de todos los componentes de un artículo, las relaciones padre-componente y las cantidades de uso derivadas de los diseños de ingeniería y de los procesos.

FIGURA 15.4

Datos de entrada para el plan de requerimientos de materiales



de una simple silla con respaldo de escalera que se aprecia en la figura 15.5, se observa que la silla está constituida por una subunidad del respaldo tipo escalera, una subunidad del asiento, las patas delanteras y los soportes de las patas. A su vez, la subunidad del respaldo tipo escalera está conformada por las patas traseras y las tablillas transversales del respaldo, en tanto que la subunidad del asiento está constituida por el bastidor del asiento y un cojín. Finalmente, el bastidor del asiento está compuesto por varias tablas. Por comodidad, nos referiremos a todos estos elementos empleando las letras que aparecen en la figura 15.5.

Todos los elementos, excepto A, son componentes porque se necesitan para fabricar un elemento padre. Los elementos A, B, C y H son padres porque todos tienen por lo menos un componente. En la BOM se especifica también la **cantidad de uso**, es decir, el número de unidades de un componente que se necesitan para fabricar una unidad de su padre inmediato. La figura 15.5 muestra, entre paréntesis) las cantidades de uso correspondientes a cada relación padre-componente. Observe que una silla (elemento A) está hecha de una subunidad de respaldo tipo escalera (elemento B), una subunidad de asiento (elemento C), dos patas delanteras (elemento D) y cuatro soportes de las patas (elemento E). Además, el elemento B está formado por dos patas traseras (elemento F) y cuatro tablillas para el respaldo (elemento G). Para el elemento C se requiere un bastidor de asiento (elemento H) y un cojín de asiento (elemento I). Finalmente, el elemento H requiere cuatro tablas para formar el bastidor de asiento (elemento J).

cantidad de uso
El número de unidades de un componente que se necesitan para fabricar una unidad de su padre inmediato.

Cuatro términos que se emplean con frecuencia para describir los elementos de un inventario son: *elementos finales*, *elementos intermedios*, *subunidades* y *elementos comprados*. Por lo general, un **elemento final** es el producto terminado que se vende al cliente; es un padre, pero no un componente. El elemento A de la figura 15.5, la silla con respaldo tipo escalera totalmente terminada, es un elemento final. En los estados de contabilidad se clasifica el inventario de elementos finales ya sea como trabajo en proceso (WIP), si aún falta algún trabajo por realizar, o como bienes terminados. Un **elemento intermedio** es el que está en la misma situación que los elementos B, C o H, es decir, que tiene por lo menos un padre y cuando menos un componente. Algunos productos tienen varios niveles de elementos intermedios; el padre de un elemento intermedio también es un elemento intermedio. El inventario de elementos intermedios (ya sea terminados o todavía en la planta de producción) se clasifica como WIP. Una **subunidad** es un elemento intermedio que se *ensambla* (a diferencia de los que son transformados por otros medios) a partir de *más* de un componente. Los elementos B y C son subunidades. Un **elemento comprado** no tiene componentes porque proviene de un proveedor, pero sí tiene uno o varios padres. Algunos ejemplos son los elementos D, E, F, G, I y J de la figura 15.5. En los estados de contabilidad, el inventario de elementos comprados se considera como materias primas.

elemento final
El producto terminado que se vende al cliente.

elemento intermedio
Un elemento que tiene por lo menos un padre y cuando menos un componente.

subunidad
Un elemento intermedio que se *ensambla* (a diferencia de los que son transformados por otros medios) a partir de *más* de un componente.

elemento comprado
Un elemento que tiene uno o varios padres, pero que no tiene componentes porque proviene de un proveedor.

Es posible que un componente tenga más de un padre. El **uso común de partes**, a veces conocido como *estandarización de partes* o *modularidad*, es el grado en que un componente tiene más de un padre inmediato. Como resultado del uso común de partes, el mismo elemento puede aparecer en varios sitios dentro de la lista de materiales de un producto, o puede figurar en las listas de materiales de varios productos diferentes. Por ejemplo, la subunidad del asiento que aparece en la figura 15.5 es un componente de la silla con respaldo tipo escalera y también de una silla para cocina que forma parte de la misma familia de productos. La cantidad de uso especificada en la lista de materiales está asociada con una relación específica padre-componente. Por lo tanto, la cantidad de uso de cualquier componente puede cambiar, dependiendo del elemento padre. El uso común de partes, o lo que es lo mismo, el uso de la misma parte en muchos elementos padres, incrementa el volumen y la repetibilidad de algunos elementos, lo cual ofrece varias ventajas para el diseño de procesos y contribuye a minimizar los costos de inventario.

uso común de partes
El grado en que un componente tiene más de un padre inmediato.

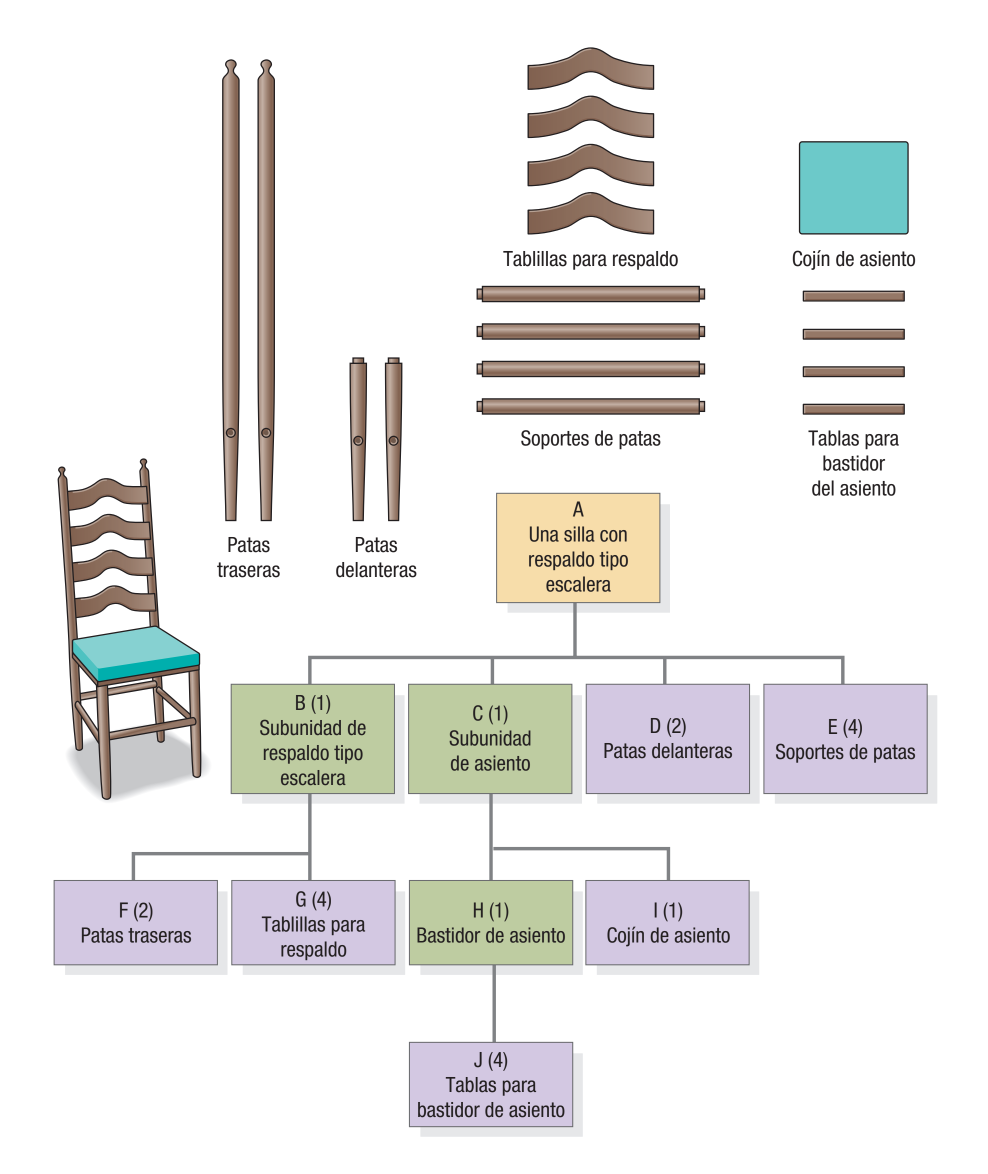


FIGURA 15.5

Lista de materiales para una silla con respaldo tipo escalera

PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN

El segundo insumo que se requiere para elaborar un plan de requerimientos de materiales es el **programa maestro de producción (MPS)** (del inglés *master production schedule*), en el cual se detalla cuántos elementos finales se producirán dentro de periodos específicos. En él se divide el plan de ventas y operaciones en programas de productos específicos. La figura 15.6 muestra cómo se subdivide el plan de ventas y operaciones de una familia de sillas en el programa maestro de producción semanal correspondiente a cada tipo específico de silla (el periodo en cuestión puede expresarse en términos de horas, días, semanas o meses). El ejemplo de las sillas demuestra los siguientes aspectos de la programación maestra:

programa maestro de producción (MPS)
Una parte del plan de requerimientos de materiales en la que se detalla cuántos elementos finales se producirán dentro de periodos específicos.

1. Las sumas de las cantidades incluidas en el MPS deben ser iguales a las del plan de ventas y operaciones. Esta congruencia entre los planes es deseable en virtud del análisis económico que se realiza para llegar al plan de ventas y operaciones.
2. Las cantidades de producción deben asignarse en forma eficiente en el transcurso del tiempo. La mezcla específica de tipos de sillas (la cantidad de cada tipo como porcentaje de la cantidad de la familia en su totalidad) se basa en la demanda histórica y en consideraciones de marketing y promoción. El planificador debe seleccionar los tamaños de lote para cada tipo de silla, considerando diversos factores económicos, como los costos de preparación para la producción y los costos por mantenimiento de inventario.
3. Las limitaciones de capacidad, por ejemplo, la capacidad de máquinas o mano de obra, el espacio de almacenamiento o el capital de trabajo, pueden determinar las fechas y las cantidades del MPS. El planificador debe tomar en cuenta esas limitaciones, reconociendo que algunos estilos de sillas requieren más recursos que otros y estableciendo las fechas y las cantidades de producción de acuerdo con eso.

FIGURA 15.6

MPS para una familia de sillas

	Abril				Mayo			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Silla con respaldo tipo escalera	150					150		
Silla de cocina				120			120	
Silla de escritorio		200	200		200			200
Plan de ventas y operaciones para la familia de sillas	670				670			

La figura 15.7 muestra el proceso de elaboración del programa maestro de producción. El área de operaciones deberá crear primero un MPS provisional, que servirá para probar si se puede cumplir el programa con los recursos previstos en el plan de ventas y operaciones (por ejemplo, capacidad de máquinas, mano de obra, tiempo extra y subcontratistas). A continuación, operaciones revisa el MPS hasta que logra formular un programa que satisfaga todas las limitaciones de recursos, o hasta que se convenza de que no es posible desarrollar un programa factible. En este último caso, habrá que revisar el plan de producción para ajustar los requisitos de producción o aumentar los recursos autorizados. Una vez que los gerentes de la empresa hayan aceptado un probable MPS factible, operaciones utilizará el MPS autorizado como datos de entrada para la planificación de requerimientos de materiales. A continuación, operaciones podrá determinar los programas específicos para la producción y ensamblaje de componentes. Los datos reales de desempeño, como los niveles de inventario y los faltantes, serán datos de entrada para elaborar el probable MPS para el siguiente periodo, y así, el proceso de elaboración del programa maestro de producción se repetirá de un periodo a otro.

Desarrollo de un programa maestro de producción El proceso de desarrollar un programa maestro de producción incluye lo siguiente: (1) calcular el inventario disponible proyectado, y (2) determinar las fechas y la magnitud de las cantidades de producción de productos específicos. Para ilustrar este proceso, se usará el ejemplo del fabricante de sillas con respaldo tipo escalera. Para simplificar, se supondrá que la empresa no utiliza inventarios de seguridad de los elementos finales, aunque muchas empresas sí lo hacen. Además, se usarán semanas como periodos de planificación, aunque también podrían usarse horas, días o meses.

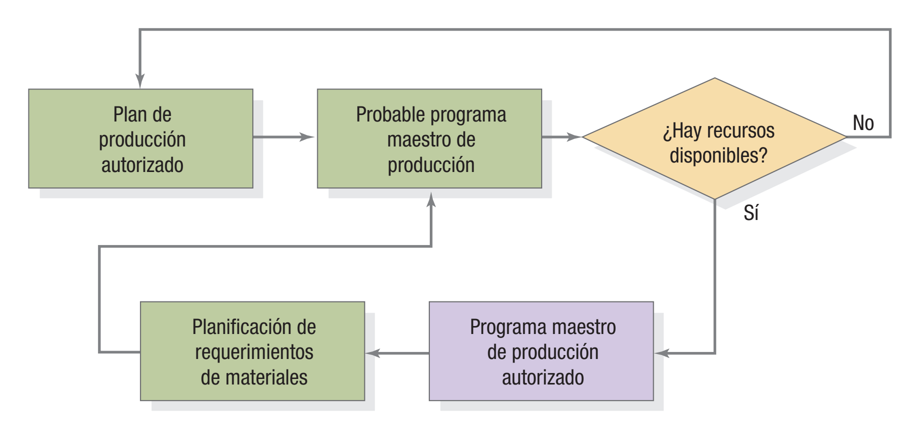
Paso 1. *Calcular los inventarios disponibles proyectados.* El primer paso consiste en calcular el inventario disponible proyectado, que es una estimación de la cantidad de inventario disponible cada semana, una vez que se ha satisfecho la demanda:

$$\begin{pmatrix}\text{Inventario disponible}\\ \text{proyectado al final}\\ \text{de esta semana}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{inventario disponible}\\ \text{al final de la}\\ \text{semana pasada}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad que según}\\ \text{el MPS debe haber al}\\ \text{principio de esta semana}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Requerimientos}\\ \text{proyectados para}\\ \text{esta semana}\end{pmatrix}$$

Es posible que en algunas semanas no aparezca en el MPS una cantidad para un producto, porque ya existe un inventario suficiente. Para los requerimientos proyectados para esta semana, el programador utilizará el factor que sea mayor: ya sea el pronóstico o los pedidos registrados de los clientes, reconociendo que el pronóstico está sujeto a errores. Si los pedidos reales registrados superan el pronóstico, la proyección será más precisa si el programador utiliza los pedidos registrados, porque estos últimos representan una cantidad conocida. A la inversa, si el pronóstico rebasa los pedidos registrados para una semana, el propio pronóstico proporcionará una estima-

FIGURA 15.7

Proceso de elaboración del programa maestro de producción



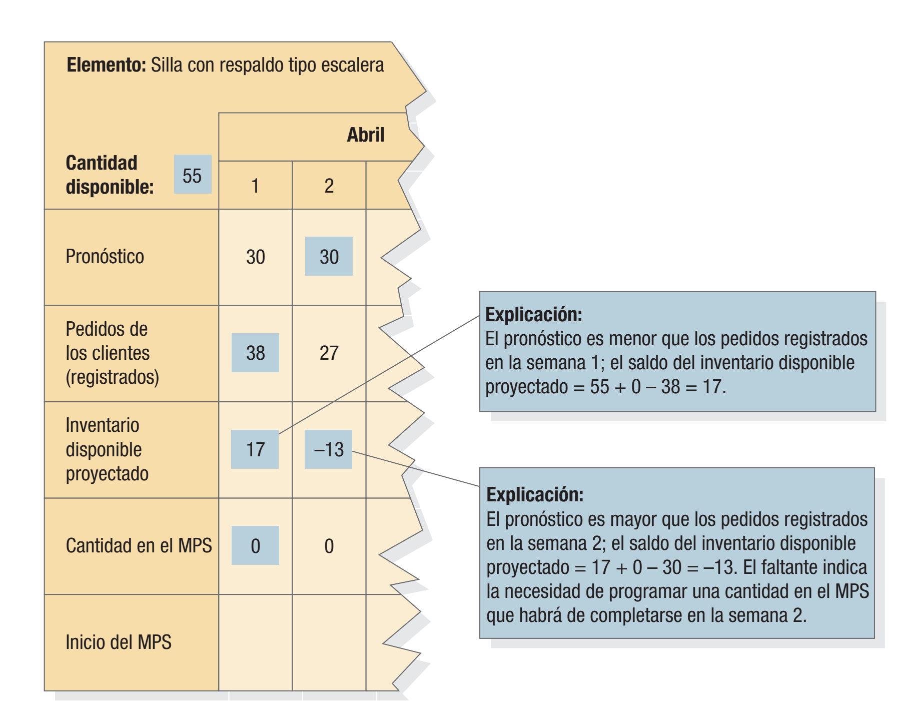


FIGURA 15.8

Programa maestro de producción para las semanas 1 y 2

ción más acertada de los requerimientos para esa semana, porque algunos pedidos no habrán llegado todavía.

El fabricante de la silla con respaldo tipo escalera produce sillas para mantener en inventario y necesita elaborar un MPS para eso. Marketing ha pronosticado una demanda de 30 sillas para la primera semana de abril, pero los pedidos de clientes que realmente se han registrado son por 38 sillas. El inventario disponible es actualmente de 55 sillas. No hay ninguna cantidad que según el MPS deba haber para la semana 1. La figura 15.8 muestra un registro del MPS con la lista de estas cantidades. En virtud de que los pedidos reales para la semana 1 son mayores que el pronóstico, el programador utiliza esa cifra de pedidos reales para calcular el saldo del inventario proyectado al final de la semana 1:

$$\text{Inventario} = \begin{pmatrix}\text{55 sillas}\\ \text{actualmente}\\ \text{en inventario}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad en}\\ \text{el MPS (0 para}\\ \text{la semana 1)}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{38 sillas ya}\\ \text{prometidas para}\\ \text{entregar en la semana 1}\end{pmatrix} = 17 \text{ sillas}$$

En la semana 2, la cantidad pronosticada es mayor que los pedidos reales registrados, por lo que el inventario disponible proyectado para el final de la semana 2 es de 17 + 0 – 30 = –13. El faltante indica la necesidad de producir más sillas para que estén disponibles en la semana 2.

Paso 2. *Determinar las fechas y la magnitud de las cantidades en el MPS.* La meta de determinar las fechas y la magnitud de las cantidades en el MPS es mantener un saldo no negativo del inventario disponible proyectado. Cuando se detecten faltantes en el inventario, será necesario programar cantidades adecuadas en el MPS para compensarlos. La primera cantidad en el MPS deberá programarse para la semana en la cual el inventario disponible proyectado refleje un faltante, como sucede en la semana 2 de la figura 15.8.[1] El programador suma la cantidad en el MPS al inventario disponible proyectado y busca el siguiente periodo en el que se presentará un faltante. Dicho faltante indica la necesidad de una segunda cantidad en el MPS, y así sucesivamente.

La figura 15.9 muestra un programa maestro de producción de la silla con respaldo tipo escalera, que abarca las ocho semanas siguientes. La política de pedidos requiere que el tamaño del lote de producción sea de 150 unidades. Se presentará un faltante de 13 sillas en la semana 2, a menos que el programador prevea una cantidad en el MPS para ese periodo.

Una vez que se haya programado la cantidad en el MPS, el saldo actualizado del inventario disponible proyectado para la semana 2 será:

$$\text{Inventario} = \begin{pmatrix}\text{17 sillas en}\\ \text{inventario al}\\ \text{final de la semana 1}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad en el}\\ \text{MPS de 150 sillas}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Pronóstico}\\ \text{de 30 sillas}\end{pmatrix} = 137 \text{ sillas}$$

El programador avanza por el registro MPS, columna por columna, hasta llegar al final, y va llenando las cantidades en el MPS según se requiera para evitar que se presenten faltantes. Las 137

[1]En algunos casos, los nuevos pedidos se planifican antes de que se presente algún faltante. Dos de esos casos son la creación de inventarios de seguridad y de previsión.

FIGURA 15.9

Programa maestro de producción para las semanas 1-8

Elemento: Silla con respaldo tipo escalera

Política de pedido: 150 unidades
Tiempo de espera: 1 semana

Cantidad disponible: 55	**Abril**				**Mayo**			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	30	30	30	30	35	35	35	35
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	24	8	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	17	137	107	77	42	7	122	87
Cantidad en el MPS	0	150	0	0	0	0	150	0
Inicio del MPS	150	0	0	0	0	150	0	0

Explicación:
El tiempo necesario para ensamblar 150 sillas es de una semana. El departamento de ensamblaje deberá comenzar a ensamblar las sillas en la semana 1 para poder tenerlas listas en la semana 2.

Explicación:
Saldo del inventario disponible = 17 + 150 – 30 = 137. La cantidad en el MPS se necesita para evitar un faltante de 30 – 17 = 13 sillas en la semana 2.

unidades satisfarán las demandas pronosticadas hasta la semana 7, cuando el faltante del inventario ocasionado por la ausencia de una cantidad en el MPS es de 7 + 0 – 35 = –28. Este faltante indica la necesidad de introducir otra cantidad de 150 unidades en el MPS. El saldo actualizado del inventario es de 7 + 150 – 35 = 122 sillas para la semana 7.

La última fila de la figura 15.9 muestra los periodos en los cuales deberá *empezar* la producción de las cantidades señaladas en el MPS, para que los elementos puedan estar disponibles en las fechas que se indican en la fila correspondiente a la cantidad en el MPS. En la parte superior derecha del registro del MPS se ha anotado un tiempo de espera de una semana para la silla con respaldo tipo escalera; esto quiere decir que se requiere una semana para ensamblar 150 sillas con respaldo tipo escalera, suponiendo que los elementos B, C, D y E estén disponibles. Para cada cantidad en el MPS, el programador trabaja hacia atrás a través del tiempo de espera para determinar cuándo tendrá que empezar a producir sillas el departamento de ensamblaje. En consecuencia, un lote de 150 unidades deberá iniciarse en la semana 1, y otro en la semana 6.

Cantidades disponibles para promesa Además de proporcionar al área de manufactura las fechas y la magnitud de las cantidades de producción, el MPS provee a marketing de información útil para negociar las fechas de entrega con los clientes. La cantidad de elementos finales que marketing puede prometer entregar en fechas específicas se conoce como **inventario disponible para promesa (ATP)** (del inglés *available-to-promise inventory*). Se trata de la diferencia entre los pedidos de los clientes ya registrados y la cantidad total que operaciones está planeando producir. A medida que se acepan nuevos pedidos de clientes, el inventario ATP se reduce para reflejar el compromiso que ha adquirido la empresa con respecto a la entrega de esas cantidades, pero el inventario real permanece sin cambio alguno hasta que el pedido sea retirado del inventario para enviarlo al cliente. Un inventario disponible para promesa está asociado a cada una de las cantidades en el MPS, porque estas últimas especifican las fechas y la magnitud del nuevo inventario que puede asignarse para atender pedidos futuros.

inventario disponible para promesa (ATP)
La cantidad de elementos finales que marketing puede prometer entregar en fechas específicas.

La figura 15.10 muestra un registro MPS con una fila adicional que corresponde a las cantidades disponibles para promesa. El inventario ATP de la semana 2 es igual a la cantidad en el MPS menos los pedidos de clientes registrados hasta la siguiente cantidad en el MPS, es decir, 150 – (27 + 24 + 8 + 0 + 0) = 91 unidades. El ATP indica a marketing que, de las 150 unidades programadas para completarse durante la semana 2, 91 unidades no están comprometidas todavía, por lo cual es posible prometer la entrega de un total de nuevos pedidos hasta por esa cantidad, en una fecha tan temprana como la semana 2. En la semana 7, el ATP es de 150 unidades porque no hay pedidos registrados en esa semana y las siguientes.



TUTOR 15.1
El tutor 15.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar cómo se elabora un programa maestro de producción.

Elemento: Silla con respaldo tipo escalera					**Política de pedido:** 150 unidades **Tiempo de espera:** 1 semana			
	Abril				**Mayo**			
Cantidad disponible: 55	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	30	30	30	30	35	35	35	35
Pedidos de los clientes (registrados)	38	27	24	8	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	17	137	107	77	42	7	122	87
Cantidad en el MPS	0	150	0	0	0	0	150	0
Inicio del MPS	150	0	0	0	0	150	0	0
Inventario disponible para promesa (ATP)	17	91					150	

Explicación:
El total de los pedidos de los clientes registrados hasta la próxima recepción del MPS es de 38 unidades. El inventario ATP = 55 (disponible) + 0 (cantidad en el MPS) – 38 = 17.

Explicación:
El total de los pedidos de los clientes registrados hasta la próxima recepción del MPS, es de 27 + 24 + 8 = 59 unidades. El inventario ATP = 150 (cantidad en el MPS) – 59 = 91 unidades.

FIGURA 15.10

Registro del MPS con una fila para el inventario ATP

El procedimiento para calcular la información sobre el inventario disponible para promesa es ligeramente distinto en el caso de la primera semana (la actual) del programa que para las demás semanas, porque en él se toma en cuenta el inventario actualmente disponible. El inventario ATP para la primera semana es igual al *inventario disponible actual* más la cantidad en el MPS para la primera semana, menos el total acumulado de los pedidos registrados hasta la semana (sin incluirla) en la cual se recibirá la siguiente cantidad en el MPS. Así, en la figura 15.10, el inventario ATP para la primera semana es de 55 + 0 – 38 = 17. Esta información indica al departamento de ventas que puede prometer hasta 17 unidades para esta semana, 91 unidades más para alguna fecha comprendida entre la semana 2 y la 6, y 150 unidades adicionales para las semanas 7 u 8. Si los requerimientos de los pedidos de los clientes son superiores a las cantidades ATP en esos periodos, será necesario modificar el MPS para poder registrar dichos pedidos, o no habrá más remedio que prometer a los clientes una fecha de entrega posterior (para cuando se reciba la siguiente cantidad en el MPS). Remítase al problema resuelto 2 que se presenta al final de este capítulo, porque allí encontrará un ejemplo de toma de decisiones en el que se utilizan las cantidades ATP.

Congelación del MPS El programa maestro de producción es el fundamento de todos los programas de elementos finales, subunidades, componentes y materiales. Por esta razón, los cambios al MPS suelen ser costosos, sobre todo si se alteran las cantidades del MPS que deberán completarse pronto. Los incrementos en una cantidad del MPS llegan a causar desabasto de materiales, demoras en las entregas a los clientes y costos excesivos de expedición. Las reducciones en las cantidades del MPS pueden dar lugar a que una parte de los materiales o componentes se quede sin utilizar (por lo menos hasta que vuelvan a necesitarse) y que se use capacidad valiosa para crear productos que no se necesitan. Se producen costos similares cuando se modifican las fechas pronosticadas en las cuales se necesitarán las distintas cantidades del MPS. Por estas razones, muchas empresas, en particular las que aplican una estrategia de fabricación para mantener en inventario y concentran sus esfuerzos en las operaciones de bajo costo, acostumbran *congelar* la parte de su MPS que corresponde al corto plazo; es decir, no permiten que se le hagan cambios.

Conciliación del MPS con los planes de ventas y operaciones En virtud de que el programa maestro de producción se basa tanto en los pronósticos como en los pedidos que realmente se reciben, puede diferir del plan de ventas y operaciones cuando se suman los diferentes periodos en

un mes. Por ejemplo, en la figura 15.6, si la suma total de las cantidades en el MPS de los tres modelos de sillas en abril fuera de 725 en lugar de 670, la gerencia tendría que revisar hacia arriba el plan de ventas y operaciones, autorizando recursos adicionales para igualar la oferta con la demanda, o reducir las cantidades en el MPS para el mes de abril a fin de ajustarlas al plan de ventas y operaciones. Los programas maestros de producción son la base de las actividades de la planta y los proveedores, por lo que deben estar sincronizados con los planes de ventas y operaciones para garantizar que las decisiones de planificación de la empresa se implementen realmente de manera continua.

REGISTRO DE INVENTARIO

Los registros de inventario son el tercer insumo importante para la MRP, y las transacciones de inventario constituyen los elementos básicos de los registros actualizados (figura 15.4). Entre esas transacciones figuran la expedición de nuevos pedidos, la recepción de las entregas programadas, el ajuste de las fechas en que deben ocurrir las recepciones programadas, los retiros de inventario, la cancelación de pedidos, la corrección de los errores de inventario, el rechazo de embarques y la verificación de las pérdidas por concepto de desperdicio y por la devolución de elementos de inventario. El registro fiel de esas transacciones es esencial para que los saldos del inventario disponible sean correctos y para tener un sistema MRP eficaz.

registro de inventario

Registro que muestra la política relativa al tamaño del lote del elemento, el tiempo de espera y diversos datos clasificados por etapas.

En el **registro de inventario**, el futuro se divide en una serie de periodos que se conocen como *sectores de tiempo*. En esta exposición, se usan sectores de tiempo semanales para mantener la congruencia con el ejemplo del MPS, pero igualmente podrían emplearse otros periodos. En el registro de inventario se muestra la política relativa al tamaño del lote del elemento, el tiempo de espera y diversos datos clasificados por etapas. El propósito del registro de inventario es llevar el control de los niveles de inventario y las necesidades de reabastecimiento de componentes. La información por etapas que aparece en el registro de inventario, consta de: (1) *requerimientos brutos*; (2) *recepciones programadas*; (3) *inventario disponible proyectado*; (4) *recepciones planeadas*, y (5) *emisiones planeadas de pedidos*.

La exposición de los registros de inventario se ilustrará por medio de la subunidad del asiento, es decir, el elemento C, que aparece en la figura 15.5. Este elemento se utiliza en la fabricación de dos productos: una silla con respaldo tipo escalera y una silla de cocina.

requerimientos brutos

La demanda total derivada de *todos* los planes de producción de elementos padres.

Requerimientos brutos. Los **requerimientos brutos** son la demanda total derivada de *todos* los planes de producción de elementos padres. En ellos se incluye también la demanda que no se ha tomado en cuenta, como la demanda de partes de repuesto para unidades que ya se han vendido. La figura 15.11 muestra un registro de inventario del elemento C, la subunidad del asiento. El elemento C se produce en lotes de 230 unidades y tiene asignado un tiempo de espera de dos semanas. En el registro de inventario también se consignan los requerimientos brutos del elemento C para las próximas ocho semanas, que provienen del programa maestro de producción de las sillas con respaldo tipo escalera y las sillas de cocina (figura 15.6). Las cantidades iniciales del MPS correspondientes a cada uno de los elementos padres se suman para obtener los requerimientos brutos de cada semana. En los requerimientos brutos de la subunidad del asiento se aprecia una demanda irregular: el área de operaciones retirará subunidades de asiento del inventario solamente en cuatro de las ocho semanas.

El sistema de MRP trabaja con fechas de expedición para programar la producción y la entrega de componentes y subunidades. La lógica del programa prevé el retiro del inventario de todos los materiales requeridos para una orden de producción de un elemento padre al *inicio* del tiempo de espera de dicho elemento (cuando el programador expide por primera vez la orden para la planta de producción).

Recepciones programadas. Tenga presente que las *recepciones programadas* (conocidas a veces como *pedidos abiertos*) son pedidos que ya se colocaron, pero que todavía no se han completado. Si se trata de un elemento comprado, la recepción programada podría encontrarse en una de varias etapas: en vías de ser procesada por un proveedor, en tránsito hacia el comprador o bajo inspección en el departamento de recepción del comprador. Si la empresa fabrica el elemento en su propia planta, el pedido en cuestión podría encontrarse en procesamiento en la planta de producción, en espera de la llegada de algún componente, aguardando a que una máquina se desocupe, o en espera de ser trasladado a la siguiente operación Según la figura 15.11, un pedido de 230 unidades del elemento C deberá entregarse en la semana 1. Si se considera que el tiempo de espera es de dos semanas, es posible que el planificador haya expedido el pedido hace dos semanas.

inventario disponible proyectado

Es una estimación de la cantidad de inventario disponible cada semana, una vez que se han satisfecho los requerimientos brutos.

Inventario disponible proyectado. El **inventario disponible proyectado** es una estimación de la cantidad de inventario disponible cada semana, una vez que se han satisfecho los requerimientos brutos. El inventario inicial, que aparece como la primera entrada (37) en la figura 15.11, indica el inventario que estaba disponible en el momento en que se hizo el registro. Igual que en el caso de las recepciones programadas, se hacen entradas por cada uno de los retiros y recepciones reales, a fin de actualizar la base de datos MRP. Después, cuando el sistema de MRP genera el registro revisado, aparecerá el inventario con sus valores correctos.

Elemento: C
Descripción: Subunidad del asiento
Tamaño del lote: 230 unidades
Tiempo de espera: 2 semanas

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos		150	0	0	120	0	150	120	0
Recepciones programadas		230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	37	117	117	117	–3	–3	–153	–273	–273
Recepciones planeadas									
Emisiones planeadas de pedidos									

Explicación:
Los requerimientos totales son la demanda total de las dos sillas. El inventario disponible proyectado en la semana 1 es de
37 + 230 – 150 = 117 unidades.

FIGURA 15.11

Registro de planificación de requerimientos de materiales para la subunidad del asiento

Otras entradas de la fila muestran el inventario esperado en las semanas futuras. El inventario disponible proyectado se calcula en la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix}\text{Saldo del inventario}\\ \text{disponible proyectado al}\\ \text{final de la semana } t\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Inventario}\\ \text{disponible al final de}\\ \text{la semana } t-1\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Recepciones programadas}\\ \text{o planeadas}\\ \text{en la semana } t\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Requerimientos}\\ \text{brutos en la}\\ \text{semana } t\end{pmatrix}$$

recepciones planeadas

Pedidos que todavía no se entregan a la planta de producción o al proveedor.

El cálculo del inventario disponible proyectado incluye la consideración de las **recepciones planeadas**, que son los pedidos que todavía no se entregan a la planta de producción o al proveedor. Las recepciones planeadas no deben confundirse con las recepciones programadas. Las recepciones planeadas se encuentran todavía en la etapa de planificación y aún pueden cambiar de una semana a otra, mientras que las recepciones programadas son pedidos reales sobre los que ya se está actuando en la fábrica o el proveedor. En la figura 15.11, todas las recepciones planeadas tienen valor de cero. Los cálculos del inventario disponible para cada semana son los siguientes:

Semana 1:	37 +	230	−	150	=	117
Semanas 2 y 3:	117 +	0	−	0	=	117
Semana 4:	117 +	0	−	120	=	−3
Semana 5:	−3 +	0	−	0	=	−3
Semana 6:	−3 +	0	−	150	=	−153
Semana 7:	−153 +	0	−	120	=	−273
Semana 8:	−273 +	0	−	0	=	−273

En la semana 4, el saldo desciende a –3 unidades, lo cual indica que habrá un faltante de 3 unidades si no se fabrican más subunidades de asiento. Esta situación advierte sobre la necesidad de que una recepción planeada llegue en la semana 4. Además, a menos que se reciba más material de inventario, el desabasto se incrementará a 273 unidades en las semanas 7 y 8.

Recepciones planeadas. Los planes para la recepción de nuevos pedidos impedirán que el saldo del inventario disponible proyectado descienda por debajo de cero. La fila correspondiente a las recepciones planeadas se desarrolla en la siguiente forma:

1. El inventario disponible semanal se proyecta hasta que se presenta un faltante. La finalización de la recepción planeada inicial está programada para la semana en la cual se ha proyectado el faltante. La adición de la recepción recién planeada deberá elevar el saldo del inventario disponible proyectado, de manera que éste sea igual o mayor que cero. Será mayor que cero cuando el tamaño del lote sobrepase los requerimientos de la semana para la cual se ha planeado su llegada.
2. La proyección del inventario disponible continúa hasta que sobreviene el siguiente desabasto. Dicho desabasto indica la necesidad de la segunda recepción planeada.

Este proceso se repite hasta el final del horizonte de planificación, avanzando columna por columna en todo el registro MRP (anotando las recepciones planeadas según se requiera y completando la fila del inventario disponible proyectado). La figura 15.12 muestra las recepciones planeadas para la subunidad del asiento. En la semana 4, el inventario disponible proyectado descenderá por debajo de cero, por lo cual se ha programado una recepción planeada de 230 unidades en la semana 4. El saldo actualizado del inventario disponible es de 117 (inventario al final de la semana 3) + 230 (recepciones planeadas) – 120 (requerimientos brutos) = 227 unidades. El inventario disponible proyectado permanece en 227 en la semana 5 porque no se prevén recepciones programadas ni requerimientos brutos. En la semana 6, el inventario disponible proyectado es de 227 (inventario al final de la semana 5) – 150 (requerimientos brutos) = 77 unidades. Esta cantidad es mayor que cero, por lo que no se necesita una nueva recepción planeada. Sin embargo, en la semana 7 habrá desabasto, a menos que se reciban más subunidades del asiento. Con una recepción planeada en la semana 7, el saldo actualizado del inventario será de 77 (inventario al final de la semana 6) + 230 (recepciones planeadas) – 120 (requerimientos brutos) = 187 unidades.

emisión planeada de pedidos

Indicación de cuándo deberá expedirse un pedido por una cantidad específica de un elemento.

Emisiones planeadas de pedidos. Una **emisión planeada de pedidos** indica cuándo deberá expedirse un pedido por una cantidad específica de un elemento. La cantidad correspondiente a la emisión planeada del pedido debe colocarse en el sector de tiempo apropiado. Para lograrlo, habrá que suponer que todos los flujos de inventario (recepciones programadas, recepciones planeadas y requerimientos brutos) se presentan en el mismo momento dentro de un periodo. En algunas empresas se supone que todos los flujos se presentan al principio del periodo; en otras, se considera que tienen lugar al final del periodo o quizá a la mitad de dicho periodo. Independientemente de cuándo se suponga que se presentan los flujos, la fecha de expedición se obtiene restando el tiempo de espera de la fecha de recepción. Por ejemplo, la fecha de entrega de la primera emisión planeada de pedidos que aparece en la figura 15.12 es: 4 (fecha de recepción planeada) – 2 (tiempo de espera) = 2 (fecha de la expedición planeada del pedido). En la figura 15.12 se muestran las emisiones planeadas de pedidos de la subunidad del asiento. Si todo sale de acuerdo con el plan, se expedirá un pedido por 230 subunidades de asiento la semana próxima (en la semana 2). La expedición de este pedido da lugar a una serie de actualizaciones del registro de inventario. Primero, se

FIGURA 15.12

Registro completo de inventario de la subunidad del asiento

Elemento: C
Descripción: Subunidad del asiento
Tamaño del lote: 230 unidades
Tiempo de espera: 2 semanas

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos		150	0	0	120	0	150	120	0
Recepciones programadas		230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	37	117	117	117	227	227	77	187	187
Recepciones planeadas					230			230	
Emisiones planeadas de pedidos			230			230			

Explicación:
Sin una recepción planeada en la semana 4, habrá desabasto de 3 unidades: 117 + 0 + 0 – 120 = -3 unidades. Al sumar la recepción planeada, el saldo alcanza un total de 117 + 0 + 230 – 120 = 227 unidades. Tomando en cuenta el tiempo de espera de 2 semanas, la correspondiente expedición planeada del pedido debe hacerse en la semana 2.

Explicación:
La primera recepción planeada dura hasta la semana 7, en la cual el inventario proyectado desciende a 77 + 0 + 0 – 120 = -43 unidades. Al agregar la segunda recepción planeada, el saldo asciende a 77 + 0 + 230 – 120 = 187 unidades. La correspondiente expedición planeada del pedido es para la semana 5 (o sea, la semana 7 menos 2 semanas).

elimina la expedición planeada de este pedido. A continuación, la recepción planeada de 230 unidades para la semana 4 también se suprime. Por último, una nueva recepción programada de 230 unidades aparecerá en la fila de recepciones programadas para la semana 4.

FACTORES DE PLANIFICACIÓN

Los factores de planificación en un registro de inventario MRP desempeñan un papel importante para el desempeño general del sistema de MRP. Mediante la manipulación de estos factores, los gerentes pueden realizar ajustes finos en sus operaciones de inventario. En esta sección, se hablará de la planificación del tiempo de espera, las reglas para determinar el tamaño del lote y el inventario de seguridad.

Planificación del tiempo de espera La planificación del tiempo de espera es una estimación del tiempo que transcurre entre el momento en que se coloca un pedido para comprar un artículo y el momento en que éste se recibe en el inventario. La precisión es importante en la planificación del tiempo de espera. Si un artículo llega al inventario antes de que se necesite, aumentarán los costos por mantenimiento de inventario. Si un artículo llega demasiado tarde, pueden producirse desabasto, costos de agilización excesivos o ambas cosas.

Cuando se trata de elementos comprados, la planificación del tiempo de espera es el lapso calculado para recibir un embarque de proveedor después de haber enviado el pedido, e incluye el tiempo normal requerido para colocar dicho pedido. Frecuentemente, la fecha de entrega se estipula en el contrato de compra. En el caso de elementos que se fabrican en la propia planta, la planificación del tiempo de espera consiste en la estimación de los siguientes factores:

- Tiempo de preparación
- Tiempo de procesamiento
- Tiempo para manejo de materiales entre operaciones
- Tiempo de espera

Será necesario estimar todos esos tiempos para cada una de las operaciones incluidas en la ruta que seguirá el producto. La estimación del tiempo de preparación, procesamiento y manejo de materiales puede ser relativamente sencilla, pero estimar el tiempo de espera correspondiente al equipo que maneja materiales o a una máquina que habrá de realizar una operación en particular, suele ser más difícil. En una instalación en la que se sigue una estrategia de fabricación por pedido, como un taller de máquinas, la carga de trabajo del taller varía considerablemente a lo largo del tiempo, haciendo que los tiempos de espera efectivos para un pedido en particular fluctúen mucho. Por lo tanto, poder estimar con precisión el tiempo de espera es muy importante para el cálculo del tiempo de entrega planificado. Sin embargo, en una instalación que sigue una estrategia de fabricación para mantener en inventario, como una planta de ensamblaje, las rutas que siguen los productos están más estandarizadas y el tiempo de espera resulta más previsible; por lo tanto, en términos generales, el tiempo de espera es una proporción menos problemática de la planificación de los tiempos de entrega.

Reglas para determinar el tamaño del lote Por medio de una regla para calcular el tamaño del lote, se determinan las fechas y la magnitud de las cantidades de pedido. A cada elemento se le debe asignar una regla para determinar el tamaño del lote a fin de calcular las recepciones planeadas y las emisiones planeadas de pedidos. La elección de las reglas sobre el tamaño del lote es importante porque éstas determinan el número de operaciones de preparación requeridas y los costos por mantenimiento de inventario de cada elemento. Aquí se presentan tres reglas para determinar el tamaño del lote: (1) cantidad fija de pedido; (2) cantidad periódica de pedido, y (3) lote por lote.

Cantidad fija de pedido. De acuerdo con la regla de **cantidad fija de pedido (FOQ)** (del inglés *fixed order quantity*), se mantiene la misma cantidad de pedido cada vez que se expide un pedido. Por ejemplo, el tamaño del lote podría estar determinado por los límites de capacidad del equipo, como en los casos en que debe cargarse un lote completo en un horno en cada ocasión. En el caso de elementos comprados, la FOQ podría estar determinada por el nivel del descuento por cantidad, la capacidad de carga de los camiones repartidores o por la cantidad de compra mínima. O si no, el tamaño del lote podría estar determinado por la fórmula de la cantidad económica de pedido (EOQ). La figura 15.12 ilustra la regla FOQ. Sin embargo, si el requerimiento bruto de un elemento en el curso de una semana es particularmente grande, la FOQ puede ser insuficiente para evitar que haya desabasto. En esos casos inusuales, el planificador del inventario debe incrementar el tamaño del lote por arriba de la FOQ, típicamente hasta un tamaño suficientemente grande para evitar el desabasto. Otra opción consiste en hacer que la cantidad de pedido sea un número entero, múltiplo de la FOQ. Esta opción es apropiada cuando las restricciones de capacidad limitan la producción al tamaño de la FOQ (como máximo) y los costos de preparación son altos.

cantidad fija de pedido (FOQ)
Regla que mantiene la misma cantidad de pedido cada vez que se expide un pedido.

Cantidad periódica de pedido. La regla de **cantidad periódica de pedido (POQ)** (del inglés *periodic order quantity*) permite ordenar una cantidad diferente en cada uno de los pedidos que se expiden, pero se crea la tendencia a expedir los pedidos a intervalos de tiempo predeterminados, por ejemplo, cada dos semanas. La cantidad de pedido es igual a la cantidad necesaria del ele-

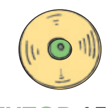
cantidad periódica de pedido (POQ)
Regla que permite ordenar una cantidad diferente en cada uno de los pedidos que se expiden, pero se crea la tendencia a expedir los pedidos a intervalos de tiempo predeterminados.

mento durante el tiempo predeterminado entre pedidos y deberá ser suficientemente grande para evitar el desabasto. Específicamente, la POQ es:

$$\begin{pmatrix}\text{Tamaño del lote}\\\text{POQ que llegará}\\\text{en la semana } t\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Total de los requerimientos}\\\text{brutos para } P\text{, incluida}\\\text{la semana } t\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Saldo del inventario}\\\text{disponible proyectado}\\\text{al final de la semana } t-1\end{pmatrix}$$

Esta cantidad cubre exactamente los requerimientos brutos correspondientes a P semanas. Esto es, el inventario disponible proyectado deberá ser igual a cero al final de la P-ésima semana.

Suponga que se desea hacer un cambio, de la regla FOQ utilizada en la figura 15.12 a la regla POQ. La figura 15.13 muestra la aplicación de la regla POQ, con $P = 3$ semanas, para el inventario de la subunidad de asiento. El primer pedido se requiere en la semana 4 porque es la primera semana en que el saldo de inventario proyectado caerá por debajo de cero. El primer pedido que utiliza $P = 3$ semanas es de:



TUTOR 15.2

El tutor 15.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar las decisiones relativas al tamaño del lote usando las reglas de FOQ, POQ y LxL.

$$\begin{pmatrix}\text{Tamaño del lote POQ}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Requerimientos}\\\text{brutos para las}\\\text{semanas 4, 5 y 6}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Inventario al final}\\\text{de la semana 3}\end{pmatrix}$$

$$= (120 + 0 + 150) - 117 = 153 \text{ unidades}$$

El segundo pedido deberá llegar en la semana 7, con un tamaño de lote de $(120 + 0) - 0 = 120$ unidades. Este segundo pedido refleja solamente el valor de los requerimientos brutos correspondientes a dos semanas (hasta el final del horizonte de planificación).

La regla de POQ *no* significa que el área de operaciones deba expedir un nuevo pedido cada P semanas. Más bien, implica que cuando *se planea* un pedido, el tamaño del lote debe ser suficiente para cubrir un periodo de P semanas sucesivas. Una forma de seleccionar un valor de P consiste en dividir el tamaño promedio del lote deseado, como la EOQ o algún otro tamaño de lote que sea aplicable, entre la demanda semanal promedio. Es decir, expresar el tamaño de lote establecido como objetivo en términos del número deseado de semanas de abastecimiento (P) y redondear el resultado al entero más próximo.

regla lote por lote (LxL)

Regla según la cual el tamaño del lote ordenado satisface los requerimientos brutos de una sola semana.

Lote por lote. Un caso especial de la regla de POQ es la **regla lote por lote (L×L)**, según la cual el tamaño del lote ordenado satisface los requerimientos brutos de una sola semana. Así, $P = 1$, y la meta es minimizar los niveles de inventario. Esta regla garantiza que el pedido planeado sea suficientemente grande para evitar desabasto durante esa única semana que abarca. El tamaño del lote L×L es el siguiente:

$$\begin{pmatrix}\text{Tamaño del lote}\\\text{L}\times\text{L que llegará}\\\text{en la semana } t\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Requerimientos}\\\text{brutos para la semana } t\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Saldo del inventario}\\\text{disponible proyectado}\\\text{al final de la semana } t-1\end{pmatrix}$$

El inventario disponible proyectado, combinado con el nuevo pedido, será igual a cero al final de la semana t. A continuación del primer pedido planeado, se utilizará un pedido planeado adicional que se usará para igualar cada uno de los requerimientos brutos subsiguientes.

En esta ocasión, se desea cambiar de la regla de FOQ a la regla L×L. La figura 15.14 muestra la aplicación de la regla L×L al inventario de subunidades de asiento. Igual que en el caso anterior, el primer pedido se necesitará en la semana 4:

$$\left(\text{Tamaño del lote L}\times\text{L}\right) = \begin{pmatrix}\text{Requerimientos brutos}\\\text{en la semana 4}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Saldo del inventario al}\\\text{final de la semana 3}\end{pmatrix}$$

$$= 120 - 117 = 3$$

El almacén tendrá que recibir pedidos adicionales en las semanas 6 y 7 para satisfacer cada uno de los requerimientos brutos subsiguientes. La recepción planeada para la semana 6 es de 150 y para la semana 7 es de 120.

FIGURA 15.13

La regla de POQ ($P = 3$) para la subunidad del asiento

Periodos: 8
Elemento: Subunidad del asiento | Periodo (P) para POQ: 3 | Tamaño del lote (FOQ):
Descripción: | Tiempo de espera: 2
Regla POQ

		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos		150			120		150	120	
Recepciones programadas		230							
Inventario disponible proyectado	37	117	117	117	150	150			
Recepciones planeadas					153			120	
Emisiones planeadas de pedidos			153			120			

Comparación entre las reglas para determinar el tamaño del lote La elección de una regla para determinar el tamaño del lote puede tener repercusiones importantes en la administración de inventarios. Estas reglas afectan los costos de inventario y los costos de preparación o de hacer pedidos. Las reglas FOQ, POQ y L×L difieren entre sí en uno o en ambos aspectos. En el ejemplo, cada una de las reglas entró en vigor en la semana 4, cuando se colocó el primer pedido. Comparemos el inventario disponible proyectado promediado durante las semanas 4 a 8 del horizonte de planificación. Los datos se muestran en las figuras 15.12, 15.13 y 15.14, respectivamente.

$$\text{FOQ:} \quad \frac{227+227+77+187+187}{5} = 181 \text{ unidades}$$

$$\text{POQ:} \quad \frac{150+150+0+0+0}{5} = 60 \text{ unidades}$$

$$\text{L}\times\text{L:} \quad \frac{0+0+0+0+0}{5} = 0 \text{ unidades}$$

El desempeño de la regla L×L con respecto a los niveles de inventario promedio se obtiene a expensas de un pedido planeado adicional, con su costo y tiempo de preparación correspondientes. De esta comparación se pueden sacar tres conclusiones:

1. La regla FOQ genera un alto nivel de inventario promedio porque crea *remanentes* de inventario. Un remanente es el inventario que se transfiere de una a otra semana: pero que es demasiado reducido para evitar el desabasto. Los remanentes se producen porque la FOQ no coincide exactamente con los requerimientos. Por ejemplo, según se aprecia en la figura 15.12, el almacén deberá recibir en la semana 7 un pedido planeado, aun cuando habrá 77 unidades disponibles al inicio de esa semana. El remanente consta de las 77 unidades que el almacén mantendrá durante tres semanas, a partir de la recepción del primer pedido planeado en la semana 4. A pesar de que aumentan los niveles del inventario promedio, los remanentes de inventario imparten estabilidad al proceso de producción porque funcionan como amortiguador de las pérdidas inesperadas por concepto de desperdicio, cuellos de botella en la capacidad, inexactitudes en los registros de inventario o inestabilidad en los requerimientos brutos.
2. La regla POQ reduce la cantidad de inventario disponible promedio porque resulta más eficaz para igualar la cantidad de pedido con los requerimientos. Ajusta los tamaños del lote a medida que los requerimientos se incrementan o disminuyen. En la figura 15.13 se puede observar que en la semana 7, cuando la regla POQ ya ha surtido pleno efecto, el inventario disponible proyectado tiene un valor de cero. No hay remanentes.
3. La regla L×L minimiza la inversión en inventario, pero también maximiza el número de pedidos que deben colocarse. Esta regla es aplicable sobre todo cuando se trata de elementos caros o de elementos cuyos costos de pedido o de preparación son bajos. Es la única regla que se puede aplicar en el caso de un elemento de bajo volumen que se fabrica por pedido. También puede aproximar la producción en lotes pequeños de un sistema esbelto.

Si se evitan los remanentes, es probable que tanto la regla POQ como la L×L introduzcan inestabilidad al subordinar tan estrechamente la decisión sobre el tamaño del lote a los requerimientos. Si alguno de éstos cambia, el tamaño del lote tendrá que cambiar, lo cual puede afectar los programas de los componentes. Los aumentos de último momento en los pedidos de elementos padres suelen encontrar obstáculos por la falta de algunos componentes.

Inventario de seguridad Una decisión administrativa importante se refiere a la cantidad de inventario de seguridad requerida. Es más compleja para elementos de demanda dependiente que para elementos de demanda independiente. El inventario de seguridad para elementos de demanda dependiente con demanda irregular (requerimientos brutos) sólo es útil cuando los requerimientos brutos futuros, las fechas o la magnitud de las recepciones programadas, y la cantidad de desperdicio que se producirá, son inciertos. El inventario de seguridad deberá reducirse, y fi-

Periodos	8								
Elemento		Subunidad del asiento		Periodo (P) para POQ			Tamaño del lote (FOQ)		
Descripción							Tiempo de espera		2
Regla LxL									
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos		150			120		150	120	
Recepciones programadas		230							
Inventario disponible proyectado	37	117	117	117					
Recepciones planeadas					3		150	120	
Emisiones planeadas de pedidos			3		150	120			

FIGURA 15.14

La regla LxL para la subunidad del asiento

FIGURA 15.15

Registro de inventario de subunidades de asiento, que muestra la aplicación de un inventario de seguridad

Regla FOQ						Tamaño del lote Tiempo de espera Inventario de seguridad		230 2 80
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150	0	0	120	0	150	120	0
Recepciones programadas	230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado 37	117	117	117	227	227	307	187	187
Recepciones planeadas	0	0	0	230	0	230	0	0
Emisiones planeadas de pedidos	0	230	0	230	0	0	0	0

nalmente suprimirse, a medida que las causas de incertidumbre se vayan resolviendo. La política acostumbrada consiste en usar el inventario de seguridad para los elementos finales y para los elementos comprados, como medio de protección contra las fluctuaciones en los pedidos de los clientes y los proveedores poco confiables de componentes, y en tratar de usarlo lo menos posible en el caso de elementos intermedios. Para incorporar los inventarios de seguridad a la lógica de la MRP, se sigue la siguiente regla: programar una recepción planeada cada vez que el saldo del inventario disponible proyectado descienda por debajo del nivel de inventario de seguridad deseado (en lugar de cero, como en el caso anterior). El objetivo es mantener un nivel mínimo de inventarios planeados igual a la cantidad del inventario de seguridad. La figura 15.15 muestra lo que ocurre cuando el requerimiento se establece en 80 unidades de inventario de seguridad de la subunidad del asiento, usando un FOQ de 230 unidades. Compare estos resultados con los de la figura 15.12. El efecto neto es pasar la segunda expedición planeada de pedidos de la semana 5 a la semana 4 para evitar caer por debajo de 80 unidades en la semana 6.

RESULTADOS DE LA PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES

Los sistemas de MRP generan muchos informes, programas y avisos para ayudar a los gerentes a controlar los inventarios de demanda dependiente, como se indica en la figura 15.16. En esta sección, se analizará el proceso de la explosión MRP, los avisos que advierten a los planificadores de los elementos que necesitan atención, los informes de requerimientos de recursos y los informes de desempeño.

Explosión de MRP El sistema de MRP traduce, o *explota*, el programa maestro de producción MPS y otras fuentes de demanda, para expresarlos en términos de los requerimientos de todas las subunidades, componentes y materias primas que la empresa necesita para producir elementos padres. Este proceso genera el plan de requerimientos de materiales para cada elemento componente.

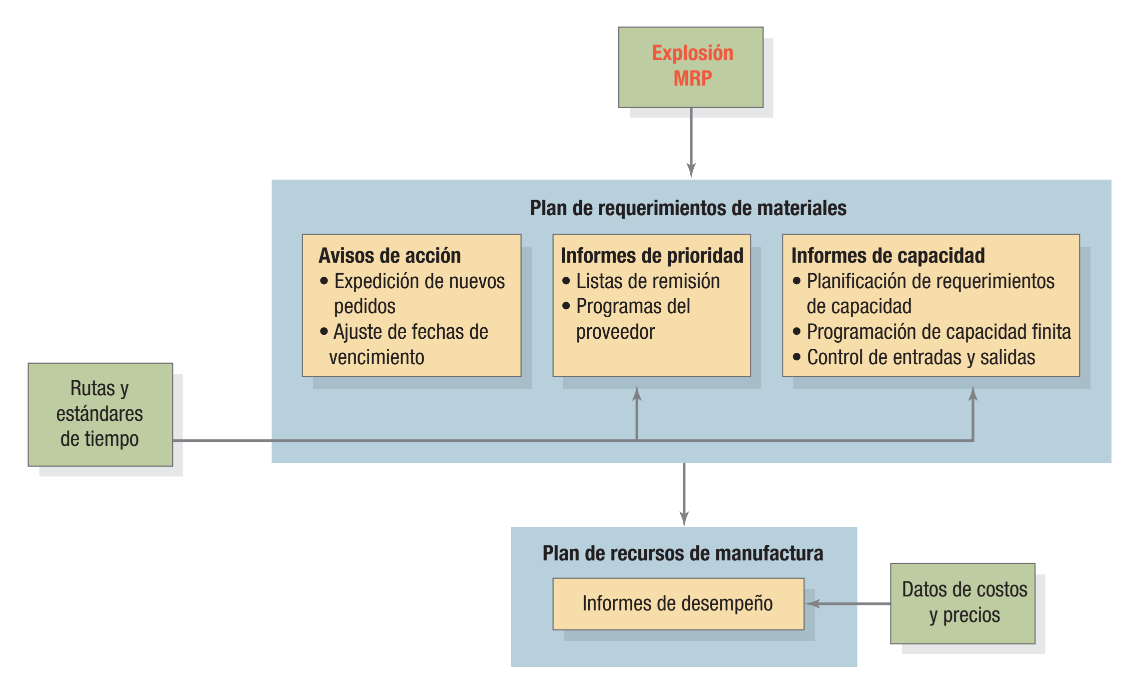


FIGURA 15.16 | Resultados de MRP

Los requerimientos brutos de un elemento provienen de tres fuentes:

1. El MPS correspondiente a los padres inmediatos que son elementos finales.
2. Las emisiones planeadas de pedidos para elementos padres por debajo del nivel del MPS.
3. Cualquier otro requisito que no tenga su origen en el MPS, como la demanda de partes de repuesto.

Considere la subunidad del asiento y su registro de inventario que aparece en la figura 15.12. Dicha subunidad requiere un cojín y un bastidor de asiento, para el cual se necesitan cuatro tablas que forman dicho bastidor. Su BOM se presenta en la figura 15.17 (véase también la figura 15.5, que muestra la forma en que la BOM de la subunidad del asiento se relaciona con el producto en su totalidad). ¿Cuántos cojines de asiento deben pedirse al proveedor? ¿Cuántos bastidores de asiento deben fabricarse para apoyar el programa de la subunidad del asiento? ¿Cuántas tablas para el bastidor de asiento será necesario fabricar? Las respuestas a estas preguntas dependen de los inventarios existentes de estos elementos y de los pedidos de reabastecimiento que ya estén en proceso. La MRP ayuda a responder estas preguntas mediante el proceso de explosión.

En la figura 15.18 se muestran los registros MRP de la subunidad del asiento y sus componentes. Ya se ha explicado cómo se desarrolla el registro MRP para la subunidad del asiento. Ahora la atención se centrará en los registros MRP de los componentes de dicha subunidad. Las reglas para determinar el tamaño del lote son: una FOQ de 300 unidades para el bastidor del asiento, L×L para el cojín del asiento y una FOQ de 1,500 para las tablas del bastidor del asiento. Para los tres componentes se ha señalado un tiempo de espera de una semana. La clave del proceso de explosión es determinar las fechas y los tamaños apropiados para los requerimientos brutos de cada componente. Una vez hecho esto, se puede desarrollar el programa de expedición planeada de pedidos para cada componente, siguiendo la lógica anteriormente demostrada.

En el ejemplo, los componentes no tienen demanda independiente de partes de repuesto. Por consiguiente, en la figura 15.18, los requerimientos brutos de un componente provienen de las emisiones planeadas de pedidos de sus elementos padres. El bastidor del asiento y el cojín para el mismo derivan sus requerimientos brutos del programa de expedición planeada de pedidos correspondiente a la subunidad del asiento. Ambos componentes tienen requerimientos brutos de 230 unidades en las semanas 2 y 5, las mismas semanas en las que se expedirán pedidos para fabricar más subunidades del asiento. Por ejemplo, en la semana 2, la persona a cargo del manejo de materiales en el departamento de ensamblaje retirará del inventario 230 bastidores y 230 cojines a fin de que este departamento pueda producir oportunamente las subunidades del asiento y evitar el desabasto en la semana 4. Los planes de materiales para el bastidor y el cojín del asiento deberán tomar en cuenta este hecho.

Si se utilizan los requerimientos brutos de las semanas 2 y 5, se pueden desarrollar los registros MRP para el bastidor y el cojín del asiento, como muestra la figura 15.18. Para la recepción programada de 300 bastidores en la semana 2, una cantidad disponible de 40 unidades y un tiempo de espera de una semana, es necesario expedir un pedido de 300 bastidores en la semana 4 a fin de cubrir el programa de ensamblaje de la subunidad del asiento. Para el cojín del asiento no hay recepciones programadas ni inventario disponible; en consecuencia, se deben colocar pedidos por 230 unidades en las semanas 1 y 4, aplicando la lógica L×L con un tiempo de espera de una semana.

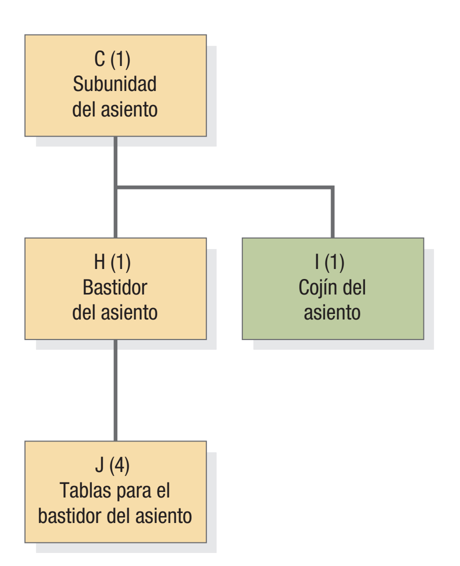
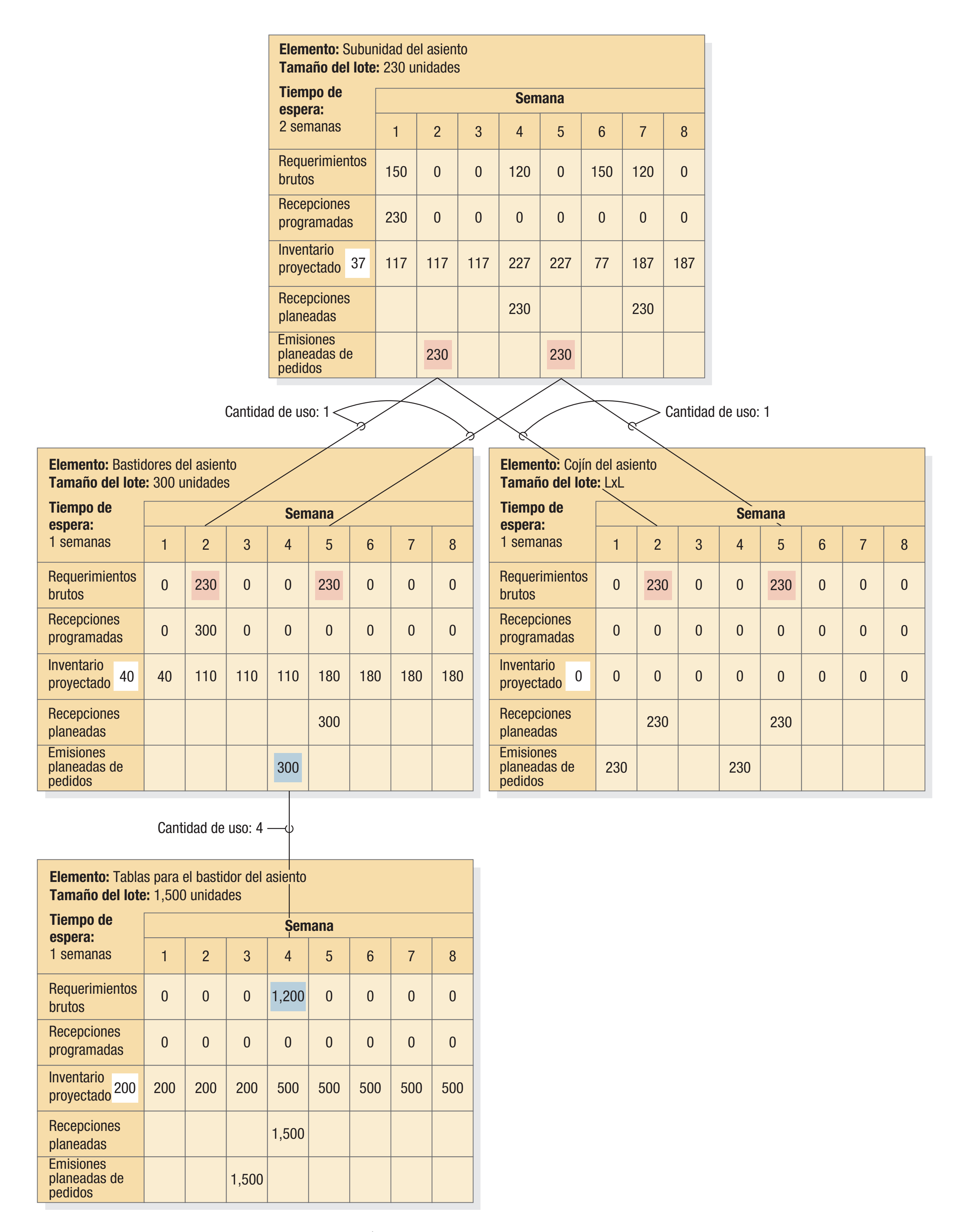


FIGURA 15.17

BOM para la subunidad del asiento



Elemento: Subunidad del asiento
Tamaño del lote: 230 unidades
Tiempo de espera: 2 semanas

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	150	0	0	120	0	150	120	0
Recepciones programadas	230	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado 37	117	117	117	227	227	77	187	187
Recepciones planeadas				230			230	
Emisiones planeadas de pedidos		230			230			

Elemento: Bastidores del asiento
Tamaño del lote: 300 unidades
Tiempo de espera: 1 semanas

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	0	230	0	0	230	0	0	0
Recepciones programadas	0	300	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado 40	40	110	110	110	180	180	180	180
Recepciones planeadas					300			
Emisiones planeadas de pedidos				300				

Elemento: Cojín del asiento
Tamaño del lote: LxL
Tiempo de espera: 1 semanas

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	0	230	0	0	230	0	0	0
Recepciones programadas	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado 0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planeadas		230			230			
Emisiones planeadas de pedidos	230			230				

Elemento: Tablas para el bastidor del asiento
Tamaño del lote: 1,500 unidades
Tiempo de espera: 1 semanas

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	0	0	0	1,200	0	0	0	0
Recepciones programadas	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventario proyectado 200	200	200	200	500	500	500	500	500
Recepciones planeadas				1,500				
Emisiones planeadas de pedidos			1,500					

FIGURA 15.18 | Explosión MRP de los componentes de la subunidad del asiento

Después de determinar el programa de reabastecimiento para el bastidor del asiento, se calculan los requerimientos brutos de las tablas para el bastidor. Se ha planeado empezar a producir 300 bastidores de asiento en la semana 4. Cada bastidor requiere cuatro tablas, por lo que es necesario tener 300(4) = 1,200 tablas disponibles en la semana 4. En consecuencia, el requerimiento bruto de tablas para los bastidores de los asientos es de 1,200 en la semana 4. En vista de que no existen recepciones programadas, hay 200 tablas en inventario, un tiempo de espera de una semana y una FOQ de 1,500 unidades, se necesitará una expedición planeada de pedidos por 1,500 tablas en la semana 3.

Ahora es posible responder a las preguntas planteadas anteriormente. Se debe planear la expedición de los siguientes pedidos: 300 bastidores de asiento en la semana 4; 230 cojines de asiento en cada una de las semanas 1 y 4, y 1,500 tablas para bastidor en la semana 3. Si los planes de MRP se actualizan semanalmente, sólo el pedido planeado para la semana 1 debe expedirse ahora. Su expedición crea una recepción programada de 230 cojines de asiento que aparecerán en el registro de inventario actualizado. Los otros pedidos continúan en la etapa de planificación, e incluso podrían ser revisados por la explosión MRP que se realizará la próxima semana.

Otros informes importantes Una vez calculados, los registros de inventario de cualquier elemento que aparezca en la BOM pueden imprimirse o mostrarse en la pantalla de la computadora. Los planificadores de inventarios usan un memorando generado por computadora, que se conoce como **aviso de acción** y sirve para tomar decisiones acerca de la expedición de nuevos pedidos y para ajustar las fechas de entrega de las recepciones programadas. Estos avisos se generan cada vez que el sistema se actualiza (por ejemplo, una vez a la semana). El aviso de acción pone sobre alerta a los planificadores sólo con respecto a los elementos que requieren su atención, como los elementos que tienen una expedición planeada de pedido en el periodo actual o una recepción programada cuya fecha de entrega necesita revisarse. De esta manera, los planificadores pueden examinar los registros completos de esos elementos y tomar las medidas pertinentes. Un aviso de acción puede consistir simplemente en una lista donde se indiquen los números de parte de los elementos que requieren atención. También puede consistir en el registro completo de esos elementos, con una nota al pie donde se indique la acción necesaria.

aviso de acción
Memorando generado por computadora que pone sobre alerta a los planificadores con respecto a la expedición de nuevos pedidos y el ajuste de las fechas de vencimiento de las recepciones programadas.

Por sí mismo, el sistema de MRP no reconoce las limitaciones de capacidad cuando calcula los pedidos planeados. Es decir, puede requerir la expedición planeada de un pedido que rebasa la cantidad que materialmente es posible producir. Una función esencial de los planificadores es monitorear los requisitos de capacidad de los planes de requerimientos de materiales, para hacer los ajustes necesarios cuando no sea posible satisfacer tales planes. Para facilitar este proceso, hay varios tipos de informes de capacidad que pueden generarse. Por ejemplo, los informes de la **planificación de requerimientos de capacidad (CRP)** (del inglés *capacity requirements* planning) proyectan los requerimientos de capacidad, clasificados por etapas, para las estaciones de trabajo. En ellos se calcula la carga de trabajo de acuerdo con el trabajo que se requiere para completar las recepciones programadas que ya se encuentran en la planta de producción y para completar las emisiones planeadas de pedidos que aún no se han emitido. Los cuellos de botella son las estaciones de trabajo en las que las cargas proyectadas rebasan las capacidades de la estación

planificación de requerimientos de capacidad
Técnica empleada para proyectar los requerimientos de capacidad, clasificados por etapas, para las estaciones de trabajo; su propósito es igualar el plan de requerimientos de materiales con la capacidad de los procesos fundamentales.

También son posibles otros tipos de informes, como los informes de prioridad relativos a los pedidos que ya se han colocado en la fábrica o con los proveedores. Los informes de prioridad comienzan con las fechas de entrega de las recepciones programadas, mismas que los planificadores mantienen actualizadas para que sigan reflejando cuándo se necesita en realidad una recepción. En una escala más amplia, la información de un sistema de MRP es útil para áreas funcionales, aparte de la de operaciones. La MRP evolucionó hasta convertirse en la **planificación de recursos de manufactura (MRP II)** (del inglés *manufacturing resource planning*), un sistema que enlaza el sistema básico de MRP con el sistema financiero de la compañía y con otros procesos centrales y auxiliares. Por ejemplo, la administración puede proyectar el valor monetario de los embarques, costos de los productos, asignaciones de gastos generales, inventarios, pedidos aplazados y utilidades, usando el plan de MRP junto con los precios y costos de los productos y actividades que están registrados en el sistema de contabilidad. Además, la información del MPS, las recepciones programadas y los pedidos planeados puede convertirse en proyecciones del flujo de efectivo, que se dividen por familias de productos. Se pueden hacer cálculos similares de otras medidas del desempeño que sean de interés para la gerencia. De hecho, MRP II evolucionó finalmente para convertirse en la planificación de recursos empresariales (ERP), que se explicó al principio de este capítulo.

planificación de recursos de manufactura (MRP II)
Sistema que enlaza el sistema básico de MRP con el sistema financiero de la compañía y con otros procesos centrales y auxiliares.

MRP Y EL MEDIO AMBIENTE

La preocupación de los gobiernos y los consumidores por el deterioro del medio ambiente natural ha inducido a los fabricantes a rediseñar sus procesos con el fin de hacerlos más ecológicos. El reciclamiento de los materiales básicos cada vez es más común, y los productos se diseñan de tal manera que puedan remanufacturarse después de sus vidas útiles. No obstante, los procesos de manufactura a menudo producen una serie de materiales de desecho que tienen que eliminarse correctamente. Los desechos son de muchos tipos:

- Descargas contaminantes, como el monóxido de carbono, dióxido de azufre y sustancias químicas peligrosas relacionadas con los procesos que se emplean para fabricar el producto.
- Materiales, como esquirlas de metal, aceites y sustancias químicas relacionadas con operaciones específicas.
- Materiales de embalaje, como cartón y plásticos inutilizables relacionados con ciertos productos o elementos comprados.
- Material de desperdicio asociado con productos inutilizables o componentes defectuosos generados por el proceso de manufactura.

Las compañías pueden modificar sus sistemas de MRP para llevar un control de estos desechos y planear su debida eliminación. El tipo y la cantidad de desechos asociados con cada elemento se pueden incluir en la BOM, a fin de tratar el material de desecho de manera muy parecida a como se tratan los componentes de un elemento. Cuando se elabora el MPS de un producto, se pueden generar informes que proyecten la cantidad de desechos esperados durante del proceso de producción y cuándo se producirán. Aunque este método puede requerir que se realicen cambios considerables en la BOM de una empresa, los beneficios también son significativos. Las empresas deben identificar con anticipación sus problemas de desechos para eliminarlos en algunos casos y planear su debida eliminación en otros. Así, la empresa también tiene una forma de generar la documentación formal requerida por el gobierno para comprobar que ha cumplido con las disposiciones de las leyes y políticas ambientales.

sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda (DBR)
Sistema de planificación y control que regula el flujo de los materiales del trabajo en proceso, en el cuello de botella o el recurso restringido por la capacidad (CCR) en un sistema productivo.

SISTEMA TAMBOR-AMORTIGUADOR-CUERDA

El **sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda (DBR)** es un sistema de planificación y control que regula el flujo de los materiales del trabajo en proceso, en el cuello de botella o el recurso con capacidad restringida (CCR, del inglés *capacity constrained resource*) en un sistema productivo. El proceso que tiene la capacidad más reducida se llama cuello de botella si su producción es menor que la demanda del mercado, o se denomina CCR si es el recurso menos capaz en el sistema, pero que, a pesar de eso, su capacidad es más alta que la demanda del mercado. El sistema DBR se basa en la teoría de restricciones (TOC), de la cual se habló largamente en el capítulo 7, "Administración de restricciones".

El programa del CCR es el *tambor* porque marca el ritmo o la tasa de producción de toda la planta y está vinculado a la demanda del mercado. El *amortiguador* es una barrera de tiempo que planea flujos tempranos hacia el CCR y así lo protege contra interrupciones. También garantiza que el cuello de botella nunca se quede sin trabajo. También se puede colocar un amortiguador en el inventario de bienes terminados, delante del punto de embarque, para proteger los programas de envíos a los clientes. Por último, la *cuerda* representa la relación de la entrega de materiales con el ritmo del tambor, que es la tasa a la que el cuello de botella o el CCR controlan el rendimiento de toda la planta. Es un dispositivo de comunicación para asegurar que las materias primas no entren en el sistema a una velocidad mayor de la que puede manejar el CCR. Para completar el ciclo, la *administración de amortiguadores* monitorea constantemente la ejecución del trabajo que entra en el CCR. Trabajando en conjunto, el tambor, el amortiguador y la cuerda pueden ayudar a los gerentes a crear un programa de producción que reduzca los tiempos de espera y los inventarios, y que, simultáneamente, aumente el rendimiento y las entregas puntuales.

Para entender mejor el sistema tambor-amortiguador-cuerda, considere el diagrama esquemático que se presenta en la figura 15.19. El proceso B, con capacidad de sólo 500 unidades por semana, es el CCR porque el proceso anterior A y el proceso posterior C tienen capacidades de 800 unidades por semana y 700 unidades por semana, respectivamente, y la demanda del mercado es

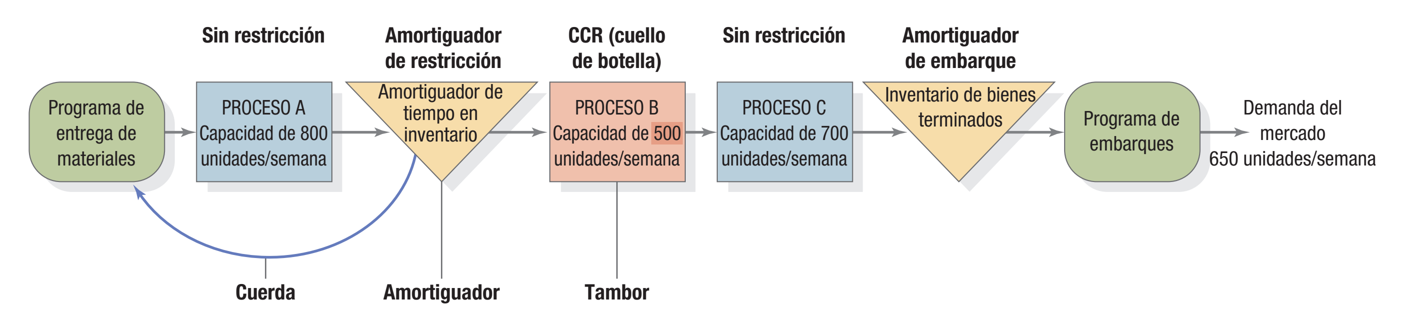


FIGURA 15.19 | Sistema Tambor-Amortiguador-Cuerda con un recurso con capacidad restringida (CCR)

de 650 unidades por semana, en promedio. En este caso, debido que la capacidad en el proceso B es menor que la demanda del mercado, se puede decir que el CCR es también un cuello de botella. Un amortiguador de tiempo de la restricción, que puede ser, por ejemplo, que los materiales lleguen antes de lo necesario, se coloca delante del CCR (proceso B). Un amortiguador de embarque, en la forma de inventario de bienes terminados, también puede colocarse delante del programa de embarques para proteger los pedidos en firme de los clientes. Finalmente, una cuerda ata el programa de entrega de materiales para igualarlo al programa, o ritmo del tambor, del CCR. El ritmo del tambor tira del flujo de materiales antes del CCR, mientras que lo empuja corriente abajo hacia el cliente, después del CCR. Por esta razón, el sistema DBR es una combinación de un sistema de tirón y empuje.

A diferencia de un sistema MRP, los procesos de programación maestra de producción y programación de componentes tienen lugar simultáneamente en un sistema DBR. Aun cuando MRP no se centra en ningún recurso, el sistema DBR se esfuerza específicamente por mejorar el rendimiento mediante la mejor utilización del recurso de cuello de botella y protegiéndolo contra interrupciones por medio del amortiguador de tiempo y la capacidad protectora del amortiguador en otras partes. Así, aunque el lote de proceso en el sistema DBR es cualquier tamaño que minimice las operaciones de preparación y mejore la utilización en el CCR, es un lote por lote en otras partes, en los recursos sin restricción. En consecuencia, el material puede entregarse en lotes pequeños conocidos como *lotes de transferencia* en el punto de entrega, que luego se combinan en el amortiguador de restricción para formar un lote completo de proceso en el CCR. Los lotes de transferencia pueden hasta de una unidad cada uno, para permitir que una estación de trabajo corriente abajo empiece a trabajar en un lote antes de que éste quede completamente terminado en el proceso anterior. El uso de lotes de transferencia típicamente facilita una reducción en el tiempo de espera total.

El uso del sistema DBR es eficaz cuando el producto que la empresa fabrica es relativamente sencillo, con sólo unos cuantos niveles en la lista de materiales, y el proceso de producción tiene más flujos lineales. La planificación se simplifica en gran medida en este caso y gira sobre todo alrededor de la programación del recurso restringido y la activación de otros puntos para cumplir el programa del CCR. La implementación de un sistema de DBR requiere comprender los principios de la TOC destacados en el capítulo 7, "Administración de restricciones". Sin embargo, tal sistema puede utilizarse en muchos tipos diferentes de organizaciones manufactureras y de servicios, ya sea por sí solo o en conjunto con otros sistemas de planificación y control, como MRP. La práctica administrativa 15.2 ilustra cómo el uso de un sistema DBR dentro de un sistema basado en MRP II mejoró el desempeño del Centro de Mantenimiento del Cuerpo de Marines en Albany, Georgia.

> PLANIFICACIÓN DE RECURSOS PARA PROVEEDORES DE SERVICIOS <

Se ha visto cómo las compañías manufactureras pueden desagregar un MPS de productos terminados, los que, a su vez, deben traducirse en necesidades de recursos, como personal, equipo, componentes y activos financieros. La directriz de estos requisitos de recursos es el plan de requerimientos de material. Por supuesto, los proveedores de servicios tienen que planificar sus recursos igual que los fabricantes. Sin embargo, a diferencia de los bienes terminados, los servicios no pueden mantenerse en inventario. Deben proporcionarse cuando se demandan. En términos de la planificación de recursos, las organizaciones de servicios deben centrarse en mantener la *capacidad* de atender a sus clientes. En esta sección, se explicará cómo los proveedores de servicios usan el concepto de demanda dependiente y una lista de recursos para administrar la capacidad.

DEMANDA DEPENDIENTE PARA SERVICIOS

Cuando se estudiaron los sistemas de planificación y control para fabricantes anteriormente en este capítulo, se presentó el concepto de *demanda dependiente,* que es la demanda de un elemento que es una función de los planes de producción de algún otro elemento que la compañía produce. Para la planificación de recursos de servicio, es útil definir el concepto de demanda dependiente para incluir las demandas de recursos que están impulsadas por pronósticos de las solicitudes de servicio por parte de los clientes o por los planes de diversas actividades que apoyan los servicios que la compañía proporciona. A continuación, se presentan otros ejemplos de demanda dependiente para proveedores de servicios.

Restaurantes Cada vez que uno pide algo del menú en un restaurante, inicia la necesidad de ciertos tipos de bienes en el restaurante (alimentos sin preparar, platos y servilletas), personal (chef, camareros y lavaplatos), y equipo (estufas, hornos y utensilios de codina). Mediante un pronóstico de la demanda de cada tipo de alimento, el gerente del restaurante estima la necesidad de

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 15.2 EL SISTEMA TAMBOR-AMORTIGUADOR-CUERDA EN EL CENTRO DE MANTENIMIENTO DEL CUERPO DE MARINES DE ESTADOS UNIDOS

El Centro de Mantenimiento del Cuerpo de Marines de Estados Unidos en Albany, Georgia, reacondiciona y repara vehículos que utiliza el Cuerpo, como buques cisterna para transportar combustible, camiones, equipo terrestre, vehículos anfibios y vehículos ligeros blindados. El primer paso del proceso de reacondicionamiento es desarmar cada vehículo para determinar la cantidad y naturaleza del trabajo que habrá de realizarse. El tipo y la duración de los trabajos de reparación pueden variar enormemente, incluso cuando se trata del mismo tipo de vehículo. Ante tal incertidumbre, el centro tenía muchas dificultades hasta hace cuatro años para terminar las reparaciones del equipo a tiempo, y acumulaba cada vez más pedidos atrasados. Por ejemplo, el centro era capaz de reparar sólo 5 vehículos MK-48 (camiones de tracción de servicio pesado) por mes, cuando el doble de vehículos MK-48 (10 por mes) necesitaban reparaciones por lo general. Varias unidades del Cuerpo amenazaron con enviar sus pedidos a las compañías de reparación del sector privado.

La programación en el centro estaba basada en un sistema de empuje MRP II, y se aplicaban principios de la TOC para identificar los cuellos de botella en los talleres. Sin embargo, después de estudiar a fondo las operaciones del centro, y contrariamente a lo que todos esperaban, se descubrió que había capacidad disponible más que suficiente para reparar y acondicionar 10 MK-48 cada mes. El problema no era la capacidad, sino el sistema de programación del centro. Los productos se empujaban al taller sin consideración del estado de los recursos de éste. En consecuencia, lo que el centro tenía era una restricción de política relacionada con el proceso de programación y no una restricción real de recursos materiales.

Para mejorar el desempeño del centro, sus administradores implementaron una forma simplificada del sistema tambor-amortiguador-cuerda, como se ilustra en la figura 15.19. En virtud de que el Centro de Mantenimiento del Cuerpo de Marines no estaba limitado por ningún recurso interno, el tambor en este sistema simplificado se basó en los pedidos en firme. A medida que los pedidos llegaban, se realizaba una revisión rápida para medir la carga total que el recurso menos capaz del centro estaba manejando. Si el recurso no tenía una carga demasiado pesada, el pedido se aceptaba y entregaba al taller para su procesamiento. La cuerda relacionaba el programa de embarques directamente con el programa de entrega de materiales en lugar de hacerlo con el programa de producción del CCR, y el único amortiguador que se mantenía era el de embarques. Dicho sistema DBR simplificado no requirió ningún software especializado. Se centró simplemente en la demanda del mercado de reparaciones. Los programas DBR facilitaban las operaciones del sistema MRP II que se utilizaba para la programación.



Las reparaciones de equipo como este vehículo anfibio de asalto pueden variar enormemente en el Centro de Mantenimiento del Cuerpo de Marines de Estados Unidos en Albany, Georgia. El centro tenía muchas dificultades para entregar a tiempo sus reparaciones hasta que los administrados implementaron una forma simplificada del sistema tambor-amortiguador-cuerda que se muestra en la figura 15.19. ¿El resultado? Los tiempos de reparación se redujeron de 167 días a sólo 58 días, en promedio.

Los resultados del centro después del cambio fueron impresionantes. La duración del ciclo de reparación se redujo, en promedio, de 167 días a 58 días, los niveles de trabajo en proceso se redujeron de 550% de la demanda a 140%, y el costo de reparar los productos disminuyó entre 25 y 30% debido al mayor rendimiento. La capacidad del centro para reparar vehículos MK-48 también se hizo mucho más flexible. De hecho, ahora puede reparar hasta 23 MK-48 por mes. La implementación de estas sencillas mejoras convirtió al Centro de Mantenimiento de Albany en una operación de reacondicionamiento y reparación de talla mundial.

Fuente: M. Srinivasan, Darren Jones, y Alex Miller, “Corps Capabilities”, *APICS Magazine,* marzo de 2005, pp. 46–50.

estos recursos. Muchos restaurantes, por ejemplo, ofrecen “especialidades” en ciertos días, por ejemplo, pescado los viernes y filete *prime rib* los sábados. Las especialidades mejoran la precisión de los pronósticos que los gerentes tienen que preparar para diferentes tipos de comidas (y los ingredientes que se requieren para prepararlas) y, por lo general, indican la necesidad de contar con niveles de personal por arriba del promedio. Sin embargo, la cantidad de estos recursos que se necesitará en realidad depende del número de comidas que el restaurante espera servir finalmente. Por tanto, estos elementos (los productos alimenticios y los miembros del personal) tienen demanda dependiente.

Aerolíneas Siempre que una aerolínea programa un vuelo, se necesitan ciertos bienes auxiliares (bebidas, bocadillos y combustible), mano de obra (pilotos, asistentes de vuelo y servicios aeroportuarios) y equipo (un avión y una terminal de aeropuerto). El número de vuelos y pasajeros que la aerolínea pronostica que va a atender determina la cantidad necesaria de estos recursos. Al igual que un fabricante, la aerolínea puede explotar su programa maestro de vuelos para tomar esta determinación.

Hospitales Con la excepción de los servicios de urgencias, los hospitales pueden usar sus citas de admisión para crear un programa maestro. Dicho programa puede explotarse para determinar los recursos que el hospital necesitará durante cierto periodo. Por ejemplo, cuando se programa un procedimiento quirúrgico, se genera la necesidad de diversos bienes auxiliares, como medicamentos, batas de quirófano, blancos, personal (cirujano, enfermeras y anestesista) y equipo (sala de operaciones, instrumentos quirúrgicos y cama de recuperación). Cuando elaboran sus programas maestros, los hospitales tienen que asegurarse de no comprometer en exceso cierto equipo y personal; en otras palabras, se aseguran de que la capacidad se mantenga. Por ejemplo, una cita para una operación mayor podría tener programarse con anticipación en algún momento en que el cirujano esté disponible para efectuarla, aun cuando los demás recursos del hospital (quirófano, enfermeras, etcétera) estén disponibles.



Una pareja disfruta de una comida en un buen restaurante. Cada plato genera la demanda de bienes auxiliares, personal y equipo.

Hoteles Un viajero que hace una reservación en un hotel genera demanda de bienes auxiliares (jabón y toallas), personal (recepción, limpieza y portero) y equipo (fax, televisor y bicicleta para hacer ejercicio). Para determinar las necesidades de recursos dependientes, el hotel suma el número de reservaciones ya registradas al número de huéspedes que llegan sin reservación, que pronostica que va a recibir. Esta cifra se usa para crear el programa maestro del hotel. Sin embargo, un recurso que el hotel no puede ajustar con facilidad es el número de habitaciones que tiene. Si el hotel está sobrevendido, por ejemplo, no puede simplemente agregar más habitaciones. Si tiene muy pocos huéspedes, no puede reducir el número de habitaciones. En vista de los elevados costos del capital que se requiere para mantener este recurso, los hoteles tratan de mantener la tasa de ocupación más alta posible y para ello ofrecen tarifas grupales o promociones especiales en determinadas épocas del año. En otras palabras, tratan de aumentar la demanda dependiente de este recurso específico.

LISTA DE RECURSOS

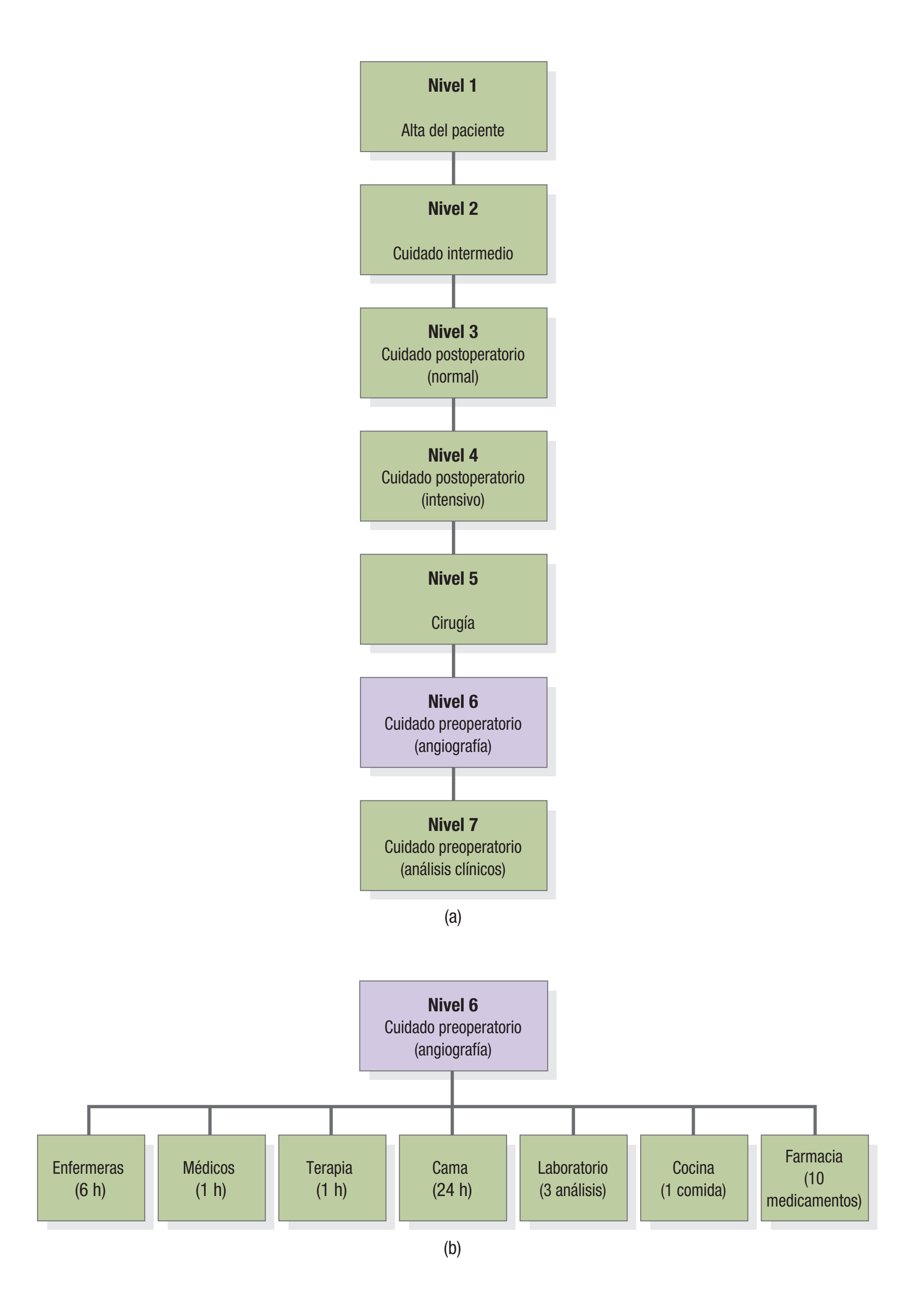
lista de recursos (BOR)
Registro de las relaciones entre elementos padres y componentes de una empresa de servicios y de todos los materiales, tiempo de equipo, personal y otros recursos necesarios para proporcionar un servicio, incluidas las cantidades de uso.

La analogía en los servicios de la lista de materiales en una empresa manufacturera es la **lista de recursos (BOR)** (del inglés *bill of resources*), que es un registro de las relaciones entre elementos padres y componentes de una empresa de servicios y de todos los materiales, tiempo de equipo, personal y otros recursos necesarios para proporcionar un servicio, incluidas las cantidades de uso. Una vez que la empresa de servicios finaliza su programa maestro, la BOR puede usarse para determinar los recursos que necesitará, la cantidad de estos recursos que requerirá y cuándo los necesitará. La BOR de un proveedor de servicios suele ser tan compleja como la BOM de un fabricante. Considere un hospital que acaba de programar el tratamiento de un paciente con un aneurisma. Como se ilustra en la figura 15.20, la BOR para el tratamiento de un aneurisma incluye siete niveles, comenzando con el del extremo superior (elemento final): (1) El paciente es dado de alta; (2) cuidado intermedio; (3) cuidado postoperatorio (normal); (4) cuidado postoperatorio (intensivo); (5) cirugía; (6) cuidado preoperatorio (angiografía), y (7) cuidado preoperatorio (análisis clínicos). A cada nivel de la BOR le corresponde un conjunto de requerimientos de materiales y recursos, y también un tiempo de espera. Por ejemplo, en el nivel 6 que muestra en la figura 15.20(b), el paciente necesita 6 horas de tiempo de enfermeras, 1 hora de tiempo de médicos, 1 hora de tiempo de un terapeuta respiratorio, 24 horas de tiempo de cama, 3 análisis de laboratorio diferentes, 1 comida y 10 medicamentos diferentes de la farmacia. El tiempo de espera en este nivel es de 1 día. El tiempo de espera de todo el periodo de hospitalización para el tratamiento de un aneurisma es de 12.2 días. Un programa maestro de admisiones de pacientes y la BOR correspondiente a cada enfermedad permiten al hospital administrar sus recursos cruciales. Se pueden generar informes análogos a los de los sistemas MRP II, que se estudiaron anteriormente en el capítulo, para las personas que administran las diversas áreas funcionales del hospital.

Sin embargo, un recurso que todo proveedor de servicios necesita es dinero. Las organizaciones de servicios tienen que pronosticar el número de clientes que esperan atender para contar con dinero disponible suficiente para comprar los materiales que se requieren para proporcionar los servicios (mano de obra y otros productos). La compra de estos artículos aumenta el nivel de las cuentas por pagar por la empresa. A medida que los servicios se proporcionan a los clientes, las cuentas por cobrar de la empresa aumentan. El programa maestro de la empresa y sus cuentas por cobrar y por pagar ayudan a la compañía a prever la cantidad y las fechas de sus flujos de efectivo.

FIGURA 15.20

Lista de recursos para el tratamiento de un aneurisma



> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> TÉRMINOS CLAVE <

aviso de acción 645
cantidad de uso 630
cantidad fija de pedido (FOQ) 639
cantidad periódica de pedido (POQ) 639
componente 627
demanda dependiente 626

PROBLEMA RESUELTO 1



Remítase a la lista de materiales del producto A, que se presenta en la figura 15.21.

Si no existe inventario, ¿cuántas unidades de los elementos G, E y D será necesario comprar para producir cinco unidades del elemento final A?

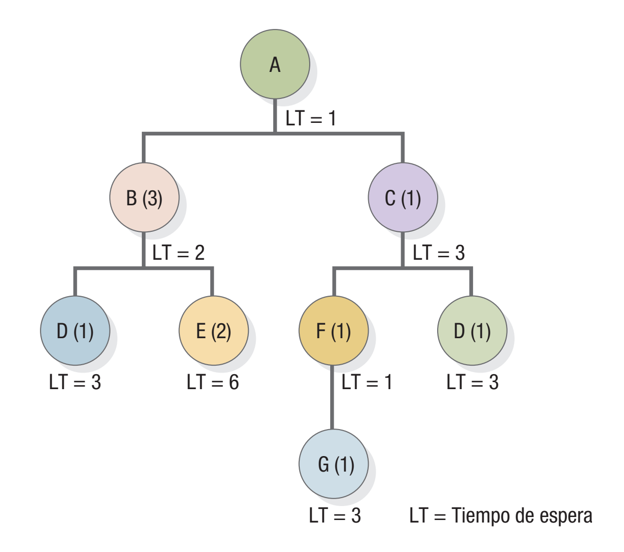


FIGURA 15.21

BOM para el producto A

SOLUCIÓN

Habrá que comprar cinco unidades del elemento G, 30 unidades del elemento E y 20 unidades del elemento D para fabricar 5 unidades de A. Las cantidades de uso ilustradas en la figura 15.21 indican que se necesitan 2 unidades de E para fabricar 1 unidad de B, y que se requieren 3 unidades de B para producir 1 unidad de A; por lo tanto, 5 unidades de A requieren 30 unidades de E ($2 \times 3 \times 5 = 30$). Se consume 1 unidad de D para fabricar 1 unidad de B, y 3 unidades de B por unidad de A dan por resultado 15 unidades de D ($1 \times 3 \times 5 = 15$); más 1 unidad de D por cada unidad de C y 1 unidad de C por cada unidad de A resultan en otras 5 unidades de D ($1 \times 1 \times 5 = 5$). Los requerimientos totales para fabricar 5 unidades de A son 20 unidades de D (15 + 5). El cálculo de los requerimientos correspondientes a G es sencillamente $1 \times 1 \times 1 \times 5 = 5$ unidades.

PROBLEMA RESUELTO 2

La política de pedidos es producir el elemento final A en lotes de 50 unidades. A partir de los datos presentados en la figura 15.22 y la regla FOQ para el tamaño del lote, complete las filas correspondientes al inventario disponible proyectado y la cantidad en el MPS. Llene después la fila del inicio del MPS, compensando las cantidades en el MPS de acuerdo con el tiempo de espera del ensamblaje final. Finalmente, calcule el inventario disponible para promesa del elemento A. Si en la se-

FIGURA 15.22

Registro del MPS para el elemento final A

Elemento: A	**Política de pedido:** 50 unidades **Tiempo de espera:** 1 semana									
	Semana									
Cantidad disponible: 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	20	10	40	10	0	0	30	20	40	20
Pedidos de los clientes (registrados)	30	20	5	8	0	2	0	0	0	0
Inventario disponible proyectado	25									
Cantidad en el MPS	50									
Inicio del MPS										
Inventario disponible para promesa (ATP)										

mana 1, un cliente presenta un nuevo pedido por 30 unidades del elemento A, ¿cuál sería la fecha más próxima en la que se podría embarcar ese pedido en su totalidad?

SOLUCIÓN

El inventario disponible proyectado para la segunda semana es:

$$\begin{pmatrix}\text{Inventario disponible}\\ \text{proyectado al final de}\\ \text{la semana 2}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Inventario}\\ \text{disponible en}\\ \text{la semana 1}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad en el MPS}\\ \text{para entregar en}\\ \text{la semana 2}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Requerimientos}\\ \text{de la semana 2}\end{pmatrix}$$
$$= 25 + 0 - 20 = 5 \text{ unidades}$$

donde los requerimientos son la cantidad que resulte mayor entre los pronósticos y los pedidos registrados de los clientes para su embarque durante este periodo. No es necesario programar ninguna cantidad en el MPS.

Sin una cantidad en el MPS en el tercer periodo, se presentará un desabasto del elemento A: 5 + 0 – 40 = –35. Por lo tanto, será necesario programar en el MPS una cantidad igual al tamaño del lote de 50, que tendrá que completarse el tercer periodo. Por consiguiente, el inventario disponible proyectado para la tercera semana será de 5 + 50 – 40 = 15.

La figura 15.23 presenta los inventarios disponibles proyectados y las cantidades programadas en el MPS que se obtendrían al completar los cálculos del MPS. La fila correspondiente al inicio del MPS se completa desplazando simplemente, una columna a la izquierda, una copia de la fila correspondiente a la cantidad en el MPS, para tomar en cuenta el tiempo de espera de una semana para el ensamblaje final. Allí también se muestran las cantidades disponibles para promesa. En la semana 1, el ATP es:

$$\begin{pmatrix}\text{Disponible para}\\ \text{promesa en la}\\ \text{semana 1}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Cantidad}\\ \text{disponible en}\\ \text{la semana 1}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Cantidad en}\\ \text{el MPS en}\\ \text{la semana 1}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Pedidos registrados hasta}\\ \text{la semana 3, cuando llegará}\\ \text{el siguiente MPS}\end{pmatrix}$$
$$= 5 + 50 - (30 + 20) = 5 \text{ unidades}$$

Tamaño del lote 50															
Tiempo de espera 1															
Cantidad disponible: 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pronóstico	20	10	40	10			30	20	40	20					
Pedidos de los clientes (registrados)	30	20	5	8		2									
Inventario disponible proyectado	25	5	15	5	5	3	23	3	13	43					
Cantidad en el MPS	50		50				50		50	50					
Inicio del MPS		50				50		50	50						
Inventario disponible para promesa (ATP)	5		35				50		50	50					

FIGURA 15.23

Registro completo MPS para el elemento final

El ATP para la cantidad del MPS en la semana 3 es:

$$\begin{pmatrix}\text{Disponible para}\\ \text{promesa en}\\ \text{la semana 3}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Cantidad en el MPS}\\ \text{en la semana 3}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Pedidos registrados hasta}\\ \text{la semana 7, cuando llegará}\\ \text{el siguiente MPS}\end{pmatrix}$$

$$= 50 - (5 + 8 + 0 + 2) = 35 \text{ unidades}$$

Los otros ATP son iguales a sus respectivas cantidades en el MPS porque no hay pedidos registrados para esas semanas. En cuanto al nuevo pedido de 30 unidades en la semana 1, la fecha más próxima en la que puede embarcarse es la semana 3, porque el ATP para la semana 1 es insuficiente. Si el cliente acepta la fecha de entrega en la semana 3, el ATP para la semana 1 seguirá siendo de 5 unidades y el ATP para la semana 3 se reducirá a 5 unidades. Esta aceptación daría a la empresa la flexibilidad necesaria para atender de inmediato un pedido de 5 unidades o menos, si se presentara alguno. Los pedidos registrados de los clientes para la semana 3 se incrementarían a 35 a fin de reflejar la fecha de embarque del nuevo pedido.

> PROBLEMA RESUELTO 3 <

El MPS del producto A requiere que el departamento de ensamblaje inicie el ensamblaje final de acuerdo con el siguiente programa: 100 unidades en la semana 2; 200 unidades en la semana 4; 120 unidades en la semana 6; 180 unidades en la semana 7, y 60 unidades en la semana 8. Prepare un plan de requerimientos de materiales de los elementos B, C y D para las ocho semanas siguientes. La BOM correspondiente al elemento A se muestra en la figura 15.24, y los datos procedentes de los registros de inventario se presentan en la tabla 15.1.



MODELO ACTIVO 15.1

El modelo activo 15.1 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor cómo se toman las decisiones sobre el tamaño del lote para la MRP.

SOLUCIÓN

Se empezará con los elementos B y C y se desarrollarán sus registros de inventario, como se aprecia en la figura 15.25. El MPS del producto A deberá multiplicarse por 2 con el fin de obtener los requerimientos brutos del elemento C, a causa de la cantidad de uso. Una vez que se hayan calculado las expediciones planeadas de pedidos para el elemento C, se podrán calcular los requerimientos brutos del elemento D.

FIGURA 15.24

BOM para el producto A

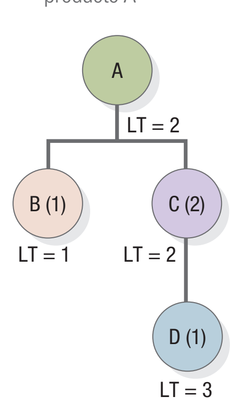


TABLA 15.1 Datos del registro de inventario

	Elemento		
Categoría de datos	**B**	**C**	**D**
Regla del tamaño del lote	POQ ($P = 3$)	L4L	FOQ = 500 unidades
Tiempo de espera (LT)	1 semana	2 semanas	3 semanas
Recepciones programadas	Ninguna	200 (semana 1)	Ninguna
Inventario (disponible) inicial	20	0	425

FIGURA 15.25

Registros de inventario de los elementos B, C y D

Elemento: B
Descripción:
Tamaño del lote: POQ (P = 3)
Tiempo de espera: 1 semana

		Semana									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos			100		200		120	180	60		
Recepciones programadas											
Inventario disponible proyectado	20	20	200	200	0	0	240	60	0	0	0
Recepciones planeadas			280				360				
Emisiones planeadas de pedidos		280				360					

Elemento: C
Descripción:
Tamaño del lote: LxL
Tiempo de espera: 2 semanas

		Semana									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos			200		400		240	360	120		
Recepciones programadas		200									
Inventario disponible proyectado	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recepciones planeadas					400		240	360	120		
Emisiones planeadas de pedidos			400		240	360	120				

Elemento: D
Descripción:
Tamaño del lote: FOQ = 500 unidades
Tiempo de espera: 3 semanas

		Semana									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos			400		240	360	120				
Recepciones programadas											
Inventario disponible proyectado	425	425	25	25	285	425	305	305	305	305	305
Recepciones planeadas					500	500					
Emisiones planeadas de pedidos		500	500								

> PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN <

1. Seleccione una organización cualquiera (por ejemplo, una donde haya trabajado) y explique cómo podría usarse un sistema ERP y si éste aumentaría la eficacia.
2. Forme un grupo en el que cada integrante represente un área funcional diferente de una empresa. Proporcione una lista de prioridades relativas a la información que podría generarse a partir de un MPS, clasificada en orden de mayor a menor importancia, para cada área funcional. Explique las diferencias en las listas.
3. Considere el programa maestro de vuelos de una aerolínea importante, como Air New Zealand. Explique las maneras en que es análogo a un programa maestro de producción de un fabricante.
4. Considere el caso de un proveedor de servicios cuya línea de negocios sea el reparto de paquetería y mensajería, como UPS y FedEx. ¿En qué forma podrían ser útiles para una compañía de ese tipo los principios de MRP?

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos.

1. Considere la lista de materiales (BOM) ilustrada en la figura 15.26
   a. ¿Cuántos elementos padres inmediatos (colocados un nivel más arriba) tiene el elemento I? ¿Y cuántos elementos padres inmediatos tiene el elemento E?
   b. ¿Cuántos componentes únicos tiene el producto A en todos los niveles?
   c. ¿Cuáles de los componentes son elementos comprados?
   d. ¿Cuántos elementos intermedios tiene el producto A en todos los niveles?
   e. En virtud de los tiempos de espera (LT) señalados en la figura 15.26, ¿con cuánta anticipación, con respecto a la fecha de embarque, deben concertarse los compromisos de compra para cualquiera de los elementos comprados que se identificaron en la parte (c)?
2. El producto A se fabrica con los componentes B, C y D. El elemento B es una subunidad para el cual se requieren 2 unidades de C y 1 unidad de E. El elemento D también es un elemento intermedio, que se fabrica a partir de F. Todas las demás cantidades de uso son 2. Elabore la lista de materiales para el producto A.
3. ¿Cuál es el tiempo de espera necesario (en semanas) para atender a un cliente que ha pedido el producto A, con base en la BOM ilustrada en la figura 15.27, suponiendo que no hay inventarios ni recepciones programadas?
4. El producto A se fabrica con los componentes B y C. A su vez, el elemento B se elabora a partir de D y E. El elemento C también es un elemento intermedio, que se produce a partir de F y H. Finalmente, el elemento intermedio E se fabrica a partir de H y G. Tenga en cuenta que el elemento H tiene dos elementos padres. La tabla siguiente muestra los tiempos de espera de los distintos elementos

Elemeno	A	B	C	D	E	F	G	H
Tiempo de espera (semanas)	1	2	2	6	5	6	4	3

   a. ¿Qué tiempo de espera (en semanas) se requiere para atender el pedido de un cliente que solicita el producto A, suponiendo que no hay inventarios ni recepciones programadas?
   b. ¿Cuál es el tiempo de respuesta al cliente si todos los elementos comprados (es decir, D, F, G y H) se encuentran en inventario?
   c. Si sólo se permitiera mantener en inventario un elemento comprado, ¿cuál de ellos seleccionaría usted?

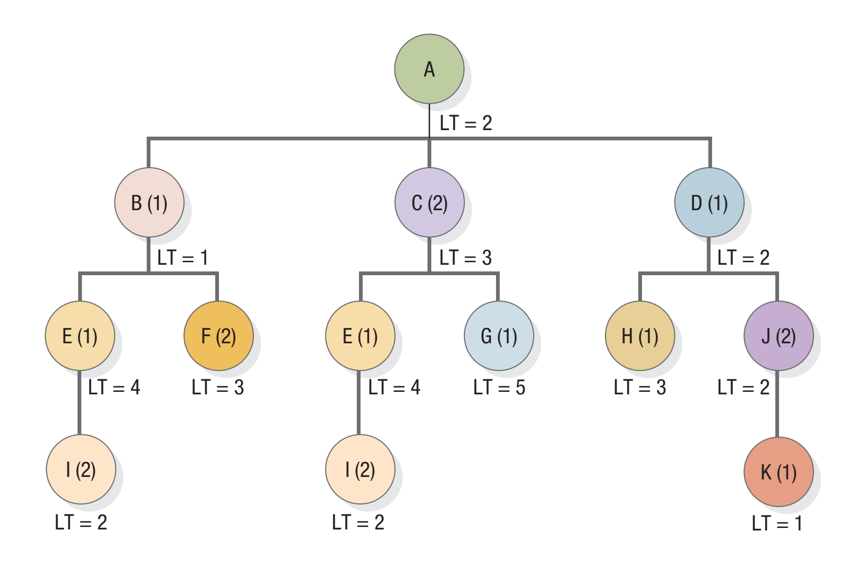


FIGURA 15.26
BOM para el producto A

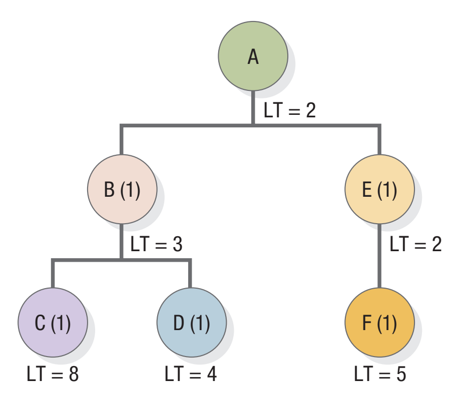


FIGURA 15.27 | BOM para el producto A

5. Remítase a la figura 15.21 y el problema resuelto 1. En caso de que hubiera en inventario 2 unidades de B, 1 unidad de F y 3 unidades de G, ¿cuántas unidades de G, E y D sería necesario comprar para producir 5 unidades del producto A?

6. Complete el registro del MPS de la figura 15.28 para un solo elemento.

7. Complete el registro del MPS ilustrado en la figura 15.29 para un solo elemento.

8. Los pronósticos de demanda de un elemento final para las próximas 10 semanas son: 30, 20, 35, 50, 25, 25, 0, 40, 0 y 50 unidades. El inventario disponible actual es de 80 unidades. La política de pedidos es producir en lotes de 100. Los pedidos de clientes registrados para el elemento, a partir de la semana 1, son: 22, 30, 15, 9, 0, 0, 5, 3, 7 y 0 unidades. Actualmente no hay cantidades en el MPS para este elemento. El tiempo de espera es de dos semanas. Desarrolle un MPS para este elemento final.

9. La figura 15.30 muestra un registro del MPS, parcialmente lleno, para la producción de cojinetes de bolas.
   a. Desarrolle el MPS para los cojinetes de bolas.
   b. Se han recibido cuatro pedidos de los clientes en la siguiente secuencia:

Pedido	Cantidad	Semana deseada
1	500	4
2	400	5
3	300	1
4	300	7

   Suponga que tiene que comprometerse a atender los pedidos de acuerdo con la secuencia de llegada y que no puede cambiar las fechas de embarque deseadas ni el MPS. ¿Qué pedidos debe aceptar?

10. Morrison Electronics ha pronosticado, para uno de sus productos, estas cifras de demanda para las próximas ocho semanas: 70, 70, 65, 60, 55, 85, 75 y 85. Los pedidos registrados de los clientes que desean adquirir este producto, comenzando en la semana 1, son: 50, 60, 55, 40. 35, 0, 0 y 0 unidades. El inventario disponible actual es de 100 unidades, la cantidad de pedido es de 150 unidades y el tiempo de espera es de 1 semana.
   a. Desarrolle un MPS para este producto.
   b. El departamento de marketing de Morrison ha revisado sus pronósticos. A partir de la semana 1, los nuevos pronósticos son: 70, 70, 75, 70, 70, 100, 100 y 110 unidades. Suponiendo que el probable MPS que usted desarrolló en la parte (a) no sufra modificaciones, prepare un registro del MPS revisado. Comente la situación a la cual se enfrenta ahora Morrison.

FIGURA 15.28

Registro del MPS de un solo elemento

Elemento: A — **Política de pedido:** 60 unidades; **Tiempo de espera:** 1 semana

Cantidad disponible: 35	Semana 1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	20	18	28	28	23	30	33	38
Pedidos de los clientes (registrados)	15	17	9	14	9	0	7	0
Inventario disponible proyectado								
Cantidad en el MPS								
Inicio del MPS								

Elemento: A				**Política de pedido:** 100 unidades **Tiempo de espera:** 1 semana				
	Enero				**Febrero**			
Cantidad disponible: 75	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	65	65	65	45	50	50	50	50
Pedidos de los clientes (registrados)	40	10	85	0	35	70	0	0
Inventario disponible proyectado								
Cantidad en el MPS								
Inicio del MPS								

FIGURA 15.29

Registro del MPS de un solo elemento

Elemento: Cojinetes de bolas						**Política de pedido:** 500 unidades **Tiempo de espera:** 1 semana				
	Semana									
Cantidad disponible: 400	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pronóstico	550	300	400	450	300	350	200	300	450	400
Pedidos de los clientes (registrados)	300	350	250	250	200	150	100	100	100	100
Inventario disponible proyectado										
Cantidad en el MPS	500									
Inicio del MPS										
Inventario disponible para promesa (ATP)										

FIGURA 15.30

Registro del MPS de cojinetes de bolas

11. La figura 15.31 muestra un registro del MPS parcialmente lleno, correspondiente a válvulas de control neumático de 2 pulgadas. Suponga que recibe los pedidos de válvulas que aparecen en la siguiente tabla (presentados por orden de llegada). A medida que llega cada pedido, usted debe decidir si lo acepta o lo rechaza. ¿Qué pedidos aceptaría para embarque?

Pedido	Cantidad (unidades)	Semana solicitada
1	15	2
2	30	5
3	25	3
4	75	7

12. Los requerimientos pronosticados para las seis semanas siguientes, en el caso de un taladro eléctrico de mano, son: 15, 40, 10, 20, 50 y 30 unidades. El departamento de marketing ha registrado pedidos que totalizan 20, 25, 10 y 20 unidades, los cuales deberán entregarse durante la primera semana (la actual), y la segunda, tercera y cuarta semanas. Actualmente, la empresa tiene en inventario 30 taladros de mano. La política de pedidos consiste en ordenar por lotes de 60 unidades. El tiempo de espera es de una semana.

a. Desarrolle el registro del MPS correspondiente a los taladros de mano.

b. Un distribuidor de los taladros de mano presenta un pedido por 15 unidades. ¿Cuál sería la fecha de embarque apropiada enviar para todo el pedido?

13. Se ha aprobado un pronóstico de 240 unidades en enero, 320 unidades en febrero y 240 unidades en marzo, para una familia de productos detectores de sismos, que Maryland Automated, Inc. fabrica en sus instalaciones de Rockport. Tres productos, A, B y C, constituyen esta familia. En los dos últimos años, las proporciones de la mezcla de los productos A, B y C han sido de 35, 40 y 25%, respectivamente. La gerencia considera que los requerimientos del pronóstico mensual están uniformemente distribuidos a lo largo de las cuatro semanas de cada mes. Actualmente hay 10 unidades disponibles del producto C. La compañía fabrica el producto C en lotes de 40, y el tiempo de espera es de 2 semanas. Se ha programado el arribo de una cantidad de producción de 40 unidades del periodo anterior, para la semana 1. La compañía ha aceptado pedidos de 25, 12, 8, 10, 2 y 3 unidades del producto C en las semanas 1 a 6, respectivamente. Prepare un probable MPS para el producto C y calcule las cantidades de inventario disponible para promesa.

14. El registro de inventario parcialmente lleno que se presenta en la figura 15.32 muestra los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de espera y el inventario disponible actual de una subunidad de cubierta para mesa.

a. Complete las tres últimas filas del registro para una FOQ de 110 unidades.

b. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla L×L para el tamaño del lote.

c. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla de POQ para el tamaño del lote, con $P = 2$.

15. El registro de inventario parcialmente lleno para la subunidad de rotor, que se presenta en la figura 15.33, muestra los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de espera y el inventario disponible actual.

a. Complete las tres últimas filas del registro para una FOQ de 150 unidades.

FIGURA 15.31

Registro del MPS de válvulas de control neumático de 2 pulgadas

Elemento: Válvula de control neumático de 2” — **Política de pedido:** 75 unidades; **Tiempo de espera:** 1 semana

Cantidad disponible: 10	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico	40	40	40	40	30	30	50	50
Pedidos de los clientes (registrados)	60	45	30	35	10	5	5	0
Inventario disponible proyectado								
Cantidad en el MPS	75	75						
Inicio del MPS	75							
Inventario disponible para promesa (ATP)								

Elemento: M405—X **Descripción:** Subunidad de cubierta para mesa								**Tamaño del lote:** **Tiempo de espera:** 2 semanas		
	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos	90		85		80		45	90		
Recepciones programadas	110									
Inventario disponible proyectado 40										
Recepciones planeadas										
Emisiones planeadas de pedidos										

FIGURA 15.32

Registro de inventario de la subunidad de cubierta para mesa

b. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla L×L para el tamaño del lote.
c. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla de POQ para el tamaño del lote, con $P = 2$.

16. El registro de inventario parcialmente lleno que se presenta en la figura 15.34 muestra los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de espera y el inventario disponible actual de la unidad de árbol de transmisión.

a. Complete las tres últimas filas del registro de inventario para una FOQ de 50 unidades.
b. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla L×L para el tamaño del lote.
c. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla de POQ para el tamaño del lote, con $P = 4$.

17. La figura 15.35 muestra un registro de inventario parcialmente lleno para la subunidad de rueda trasera. Aparecen en él los requerimientos brutos, las recepciones programadas, el tiempo de espera y el inventario disponible actual.

a. Complete las tres últimas filas del registro para una FOQ de 300 unidades.
b. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla L×L.
c. Complete las tres últimas filas del registro, aplicando la regla de POQ, con $P = 3$.

18. En la figura 15.36 se presenta el registro de inventario, parcialmente lleno, de la subunidad de motor.

a. Complete las tres últimas filas del registro para una FOQ de 60 unidades.
b. Revise la fila de emisiones planeadas de pedidos, aplicando la regla L×L.
c. Revise la fila de emisiones planeadas de pedidos, utilizando la regla de POQ. Encuentre el valor de P que (a la larga) daría lugar a un tamaño de lote promedio de 60

Elemento: Subunidad de rotor							**Tamaño del lote:** **Tiempo de espera:** 2 semanas	
	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos	65	15	45	40	80	80	80	80
Recepciones programadas	150							
Inventario disponible proyectado 20								
Recepciones planeadas								
Emisiones planeadas de pedidos								

FIGURA 15.33

Registro de inventario de la subunidad de rotor

FIGURA 15.34

Registro de inventario de la subunidad de árbol de transmisión

Elemento: Subunidad de árbol de transmisión

Tamaño del lote:
Tiempo de espera: 3 semanas

		Semana							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Requerimientos brutos		35	25	15	20	40	40	50	50
Recepciones programadas		80							
Inventario disponible proyectado	10								
Recepciones planeadas									
Emisiones planeadas de pedidos									

FIGURA 15.35

Registro de inventario de la subunidad de rueda trasera

Elemento: MQ-09
Descripción: Subunidad de rueda trasera

Tamaño del lote:
Tiempo de espera: 1 semana

		Semana									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Requerimientos brutos		205		130	85		70	60	95		
Recepciones programadas		300									
Inventario disponible proyectado	100										
Recepciones planeadas											
Emisiones planeadas de pedidos											

Elemento: GF-4
Descripción: Subunidad de motor

Tamaño del lote:
Tiempo de espera: 3 semanas

		Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Requerimientos brutos			50		35		55		30		10		25
Recepciones programadas			60										
Inventario disponible proyectado	40												
Recepciones planeadas													
Emisiones planeadas de pedidos													

FIGURA 15.36 | Registro de inventario de la subunidad de motor

unidades. Suponga que la demanda semanal promedio es de 15 unidades en el futuro previsible.

PROBLEMAS AVANZADOS

19. La lista de materiales (BOM) para el producto A se muestra en la figura 15.37, y los datos de los registros de inventario se presentan en la tabla 15.2. En el programa maestro de producción del producto A, la fila de inicio del MPS indica 500 unidades en la semana 6. El tiempo de espera calculado para la producción de A es de dos semanas. Prepare el plan de requerimientos de materiales para los elementos B, C y D en las seis semanas siguientes. (*Sugerencia*: No es posible calcular los requerimientos brutos de un elemento si no se conocen las emisiones planeadas de pedidos de todos los elementos padres).

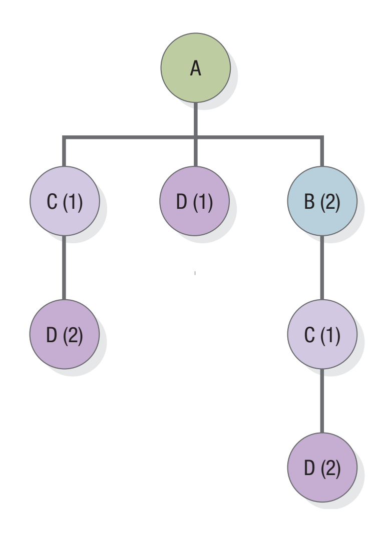


FIGURA 15.37 | BOM para el producto A

TABLA 15.2 | Datos del registro de inventario

	Elemento		
Categoría de datos	**B**	**C**	**D**
Regla del tamaño del lote	LxL	LxL	FOQ = 2,000
Tiempo de espera	3 semanas	1 semanas	1 semana
Recepciones programadas	Ninguna	Ninguna	2,000 (semana 1)
Inventario inicial	0	0	200

20. Las BOM correspondientes a los productos A y B se ilustran en la figura 15.38. Los datos de los registros de inventario se presentan en la tabla 15.3. El MPS requiere que 85 unidades del producto A empiecen a producirse en la semana 3, y 100 unidades durante la semana 6. El MPS del producto B requiere que 180 unidades empiecen a producirse en la semana 5. Prepare el plan de requerimientos de materiales para las seis semanas siguientes correspondiente a los elementos C, D, E y F.

21. La figura 15.39 ilustra la BOM para el producto A. La fila de inicio del MPS en el programa maestro de producción del producto A requiere 50 unidades en la semana 2, 65 unidades en la semana 5 y 80 unidades en la semana 8. El elemento C se produce para fabricar el producto A y para atender la demanda pronosticada de partes de repuesto. En el pasado, la demanda de partes de repuesto ha sido de 20 unidades por semana (agregue 20 unidades a los requerimientos brutos de C). Los tiempos de espera de los elementos F y C son de una semana, y el tiempo de espera de los otros elementos es de dos semanas. No se requiere inventario de seguridad para los elementos B, C, D, E y F. La regla L×L para determinar el tamaño del lote se utiliza con los elementos B y F; la regla de FOQ para determinar el tamaño del lote ($P = 3$) se emplea en el caso de C. El elemento E tiene una FOQ de 600 unidades, y D tiene una FOQ de 250 unidades. Los inventarios disponibles son: 50 unidades de B, 50 unidades de C, 120 unidades de D, 70 unidades de E y 250 unidades de F. Hay una recepción programada de 50 unidades del elemento B en la semana 2.

Prepare un plan de requerimientos de materiales correspondiente a las ocho semanas siguientes para los elementos B, C, D, E y F.

22. Se dispone de la siguiente información para tres elementos del MPS:

Producto A Se empezará a producir un pedido de 80 unidades en la semana 3.
Se empezará a producir un pedido de 55 unidades en la semana 6.

Producto B Se empezará a producir un pedido de 125 unidades en la semana 5.

Producto C Se empezará a producir un pedido de 60 unidades en la semana 4.

Prepare el plan de requerimientos de materiales correspondiente a las seis semanas siguientes para los elementos D, E y F.

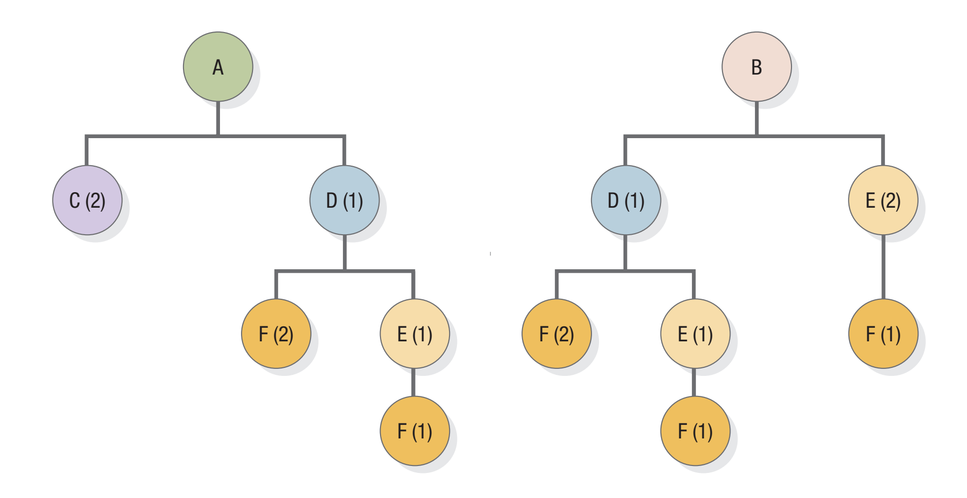


FIGURA 15.38 | BOM para los productos A y B

TABLA 15.3 Datos del registro de inventario

	Elemento			
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**	**F**
Regla del tamaño del lote	FOQ = 220	LxL	FOQ = 300	POQ ($P = 2$)
Tiempo de espera	3 semanas	2 semanas	3 semanas	2 semanas
Recepciones programadas	280 (semana 1)	Ninguna	300 (semana 3)	Ninguna
Inventario inicial	25	0	150	600

FIGURA 15.39

BOM para el producto A

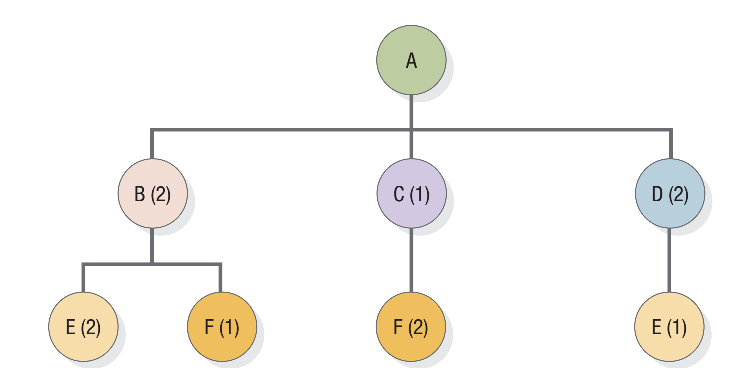


FIGURA 15.40

BOM para los productos A, B y C

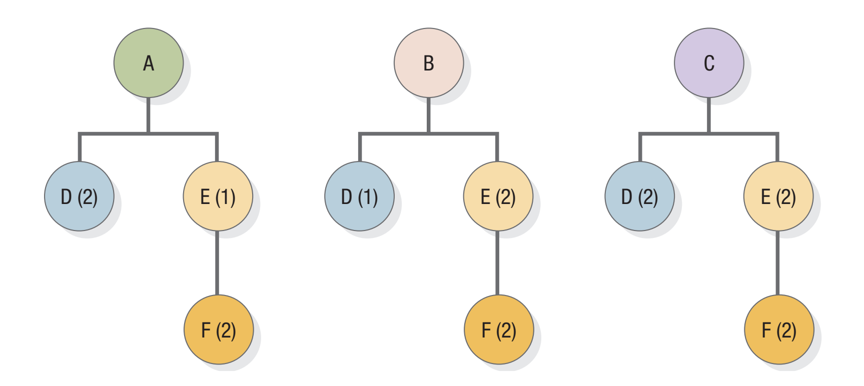


TABLA 15.4 Datos del registro de inventario

	Elemento		
Categoría de datos	**D**	**E**	**F**
Regla del tamaño del lote	FOQ = 150	LxL	POQ ($P = 2$)
Tiempo de espera	3 semanas	1 semana	2 semanas
Inventario de seguridad	0	0	30
Recepciones programadas	150 (semana 3)	120 (semana 2)	Ninguna
Inventario inicial	150	0	100

Las BOM se muestran en la figura 15.40 y los datos de los registros de inventario se presentan en la tabla 15.4. (*Advertencia*: Existe un requisito de inventario de seguridad para el elemento F. Asegúrese de planear una recepción para cualquier semana durante la cual el inventario disponible proyectado sea menor que el inventario de seguridad).

23. La figura 15.41 muestra la BOM para dos productos, A y B. La tabla 15.5 indica la fecha inicial correspondiente a la cantidad de cada uno de ellos en el MPS. La tabla 15.6 contiene datos de los registros de inventario de los elementos C, D y E. No hay requisitos de inventario de seguridad para ninguno de esos elementos. Determine el plan de requerimientos de materiales para los elementos C, D y E, correspondiente a las ocho semanas siguientes.

FIGURA 15.41 | BOM para los productos A y B

TABLA 15.5 | Fechas de inicio para la cantidad en el MPS

	Fecha							
Producto	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
A		125		95		150		130
B			80			70		

TABLA 15.6 | Datos del registro de inventario

	Elemento		
Categoría de datos	**C**	**D**	**E**
Regla del tamaño del lote	LxL	POQ ($P = 3$)	FOQ = 800
Tiempo de espera	3 semanas	2 semanas	1 semana
Recepciones programadas	200 (semana 2)	Ninguna	800 (semana 1)
Inventario inicial	85	625	350

24. La BOM para el producto A se presenta en la figura 15.42. El MPS del producto A requiere iniciar la producción de 120 unidades en las semanas 2, 4, 5 y 8. La tabla 15.7 muestra datos tomados de los registros de inventario. Prepare el plan de requerimientos de materiales correspondiente a las ocho semanas siguientes para cada elemento.

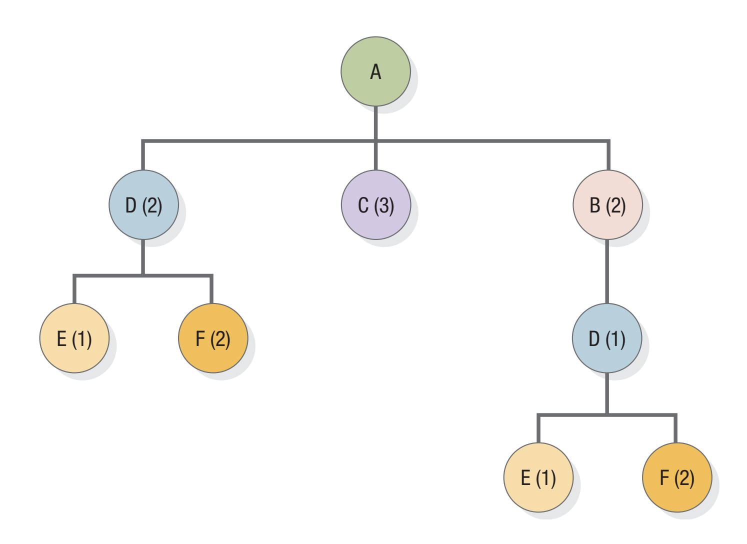


FIGURA 15.42 | BOM para el producto A

TABLA 15.7 | Datos del registro de inventario

	Elemento				
Categoría de datos	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Regla del tamaño del lote	LxL	FOQ = 700	FOQ = 700	L4L	L4L
Tiempo de espera	3 semanas	3 semanas	4 semanas	2 semanas	1 semana
Inventario de seguridad	0	0	0	50	0
Recepciones programadas	150 (semana 2)	450 (semana 2)	700 (semana 1)	Ninguna	1,400 (semana 1)
Inventario inicial	125	0	235	750	0

25. Prepare el plan de requerimientos de materiales para todos los componentes y elementos intermedios asociados con el producto A, para las diez semanas siguientes. Remítase al problema resuelto 1 (figura 15.21) para consultar la lista de materiales, y a la tabla 15.8 para ver la información contenida en el registro de inventario de los componentes. El MPS del producto A requiere que se ponga en marcha la producción de 50 unidades en las semanas 2, 6, 8 y 9. (*Advertencia*: Tome en cuenta que los elementos B y C tienen requisitos de inventario de seguridad).

TABLA 15.8 Datos del registro de inventario

	Elemento					
Categoría de datos	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Regla del tamaño del lote	LxL	LxL	POQ ($P = 2$)	LxL	LxL	FOQ = 100
Tiempo de espera	2 semanas	3 semanas	3 semanas	6 semanas	1 semana	3 semanas
Inventario de seguridad	30	10	0	0	0	0
Recepciones programadas	150 (semana 2)	50 (semana 2)	Ninguna	400 (semana 6)	40 (semana 3)	Ninguna
Inventario inicial	30	20	60	400	0	0

EJERCICIO DE MODELO ACTIVO

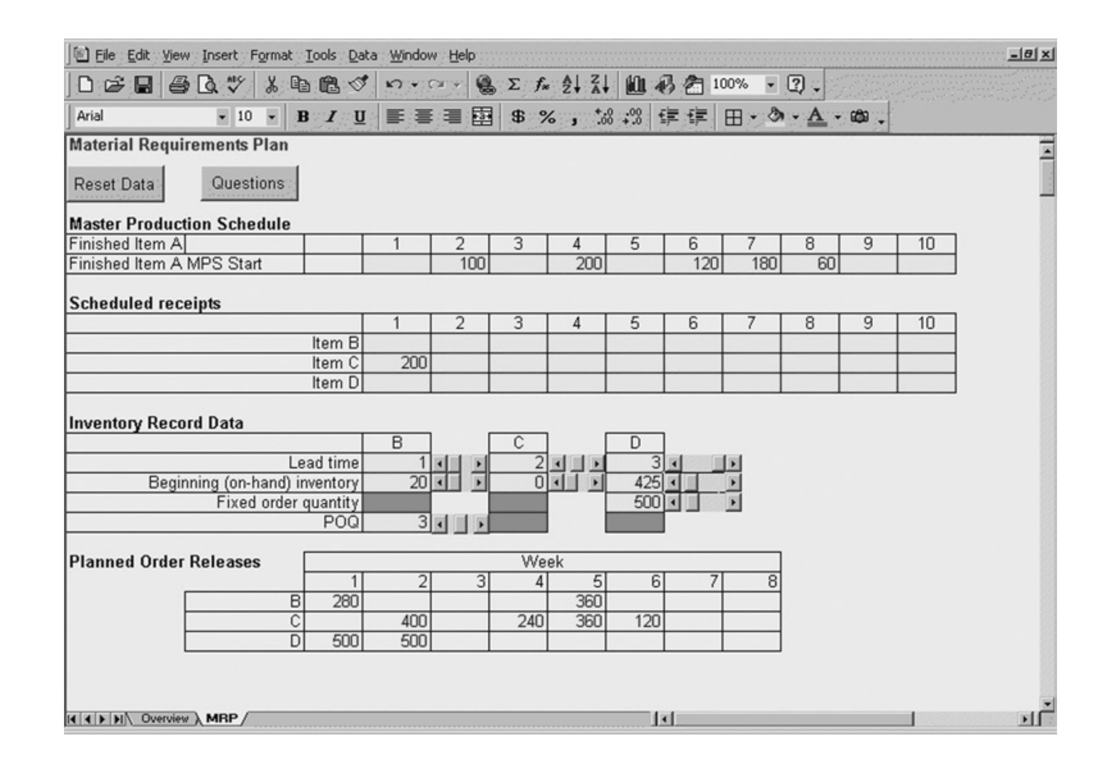
Este modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante. Permite evaluar la relación entre los datos del registro de inventario y las emisiones planeadas de pedidos.

PREGUNTAS

1. Suponga que se cambia la POQ del elemento B de 3 semanas a 2 semanas. ¿Cómo afectará este cambio las emisiones de pedidos de los elementos B, C y D?
2. A medida que el inventario disponible del elemento C aumenta de 0 a 200, ¿qué sucede con las emisiones de pedidos de los elementos B, C y D?
3. A medida que la cantidad fija de pedido (FOQ) del elemento D aumenta de 500 a 750, ¿qué sucede con las emisiones de pedidos de los elementos B, C y D?
4. A medida que cambia el tiempo de espera del elemento C, ¿qué sucede con las emisiones de pedidos de los elementos B, C y D?

MODELO ACTIVO 15.1

Planificación de requerimientos de materiales, usando datos del problema resuelto 3 y la tabla 15.1



CASO

Flashy Flashers, Inc.

Jack Jacobs, gerente de producción e inventario de Flashy Flashers, Inc. se detuvo un momento para arreglarse el nudo de la corbata y alisarse el cabello con los dedos antes de entrar en la oficina de Ollie Prout, el vicepresidente de operaciones. Por el tono de la voz de Prout en el teléfono, Jacobs comprendió que no lo había llamado para una simple visita social.

Antecedentes de la compañía

Flashy Flashers, Inc. es una empresa mediana que cuenta con 500 empleados y 75 miembros de personal directivo y administrativo. La compañía produce una línea de componentes eléctricos para automóviles. Actualmente, es la proveedora de aproximadamente 75 tiendas de autopartes y distribuidores del automóvil "Moonbird Silverstreak" en su región.

Johnny Bennett, que ocupa el cargo de presidente, fundó la compañía. Bennett es un gran empresario que comenzó su carrera fabricando unidades de cables en la cochera de de su casa. Gracias a que trabajaba arduamente, ofrecía buena calidad consistente en su producto y un excelente servicio al cliente, logró ampliar su empresa y llegó a producir diversos componentes eléctricos. El compromiso de Bennett con el servicio al cliente es tan firme que el lema de su compañía, "ama a tu cliente como a ti mismo", está grabado en una gran placa de hierro forjado, debajo de un gigantesco retrato al óleo del propio Bennett, en el vestíbulo del edificio.

Los dos productos más rentables de la compañía son las lámparas laterales de la parte frontal de los automóviles y los faros delanteros. A raíz del auge reciente en la industria automotriz y la creciente popularidad de los autos tipo sedán de Eurosport, como el Moonbird Silverstreak, la empresa Flashy Flashers ha tenido una demanda muy considerable de esos dos artículos de iluminación.

El año pasado, por recomendación de Prout y para mejorar la administración del sistema de inventario, Bennett aprobó la instalación de un nuevo sistema MRP. Prout trabajó en estrecha colaboración con el grupo de trabajo especial que se creó conectar en línea el sistema MRP. Con frecuencia asistió a las sesiones de capacitación para empleados seleccionados, en las cuales puso de relieve la forma en que el MRP contribuiría a que Flashy Flashers alcanzara una mayor ventaja competitiva. El día que el sistema quedó "enlazado" prevalecía un clima de tranquilidad y buena voluntad. ¡Los días del sistema informal para "apagar incendios" habían quedado atrás!

Un año más tarde, el estado de ánimo de Prout era muy diferente. Los niveles de inventario y de tiempo extra no habían disminuido en la medida esperada, el servicio al cliente había empeorado y se presentaban demasiadas quejas a causa de la impuntualidad en la entrega de mercancía. Convencido de que esos problemas no deberían presentarse con el sistema MRP, Prout se propuso averiguar qué era lo que estaba fallando.

Los problemas

Jacobs apenas había dado dos pasos en la oficina de Prout cuando la voz de éste resonó en la habitación: "Jack, ¿qué está pasando aquí? Acabo de recibir otra llamada de un cliente quejándose de que nuevamente nos hemos retrasado en la entrega del embarque de lámparas. Es la enésima vez que recibo quejas por impuntualidad en la entrega de los productos. Johnny no me deja en paz por esto. ¿Por qué razón nuestro sistema no está funcionando como se supone que debería hacerlo, y qué podemos hacer para conservar nuestros clientes valiosos y seguir en el negocio?"

Jacobs tragó saliva y tardó un momento en recobrar la compostura antes de responder a Prout. "Nos esforzamos al máximo para llevar al día los registros de inventario y los archivos de las BOM. Con nuestro sistema, se produce una nueva explosión cada semana. Nos proporciona un plan de requerimientos de materiales actualizado y avisos de acción para iniciar nuevos pedidos. Algunos miembros de mi grupo consideran que deberíamos extender nuestros datos de salida para tener informes sobre prioridades y capacidad. Como sabes, decidimos dejar bien establecida primero la capacidad de iniciar pedidos. Sin embargo, creo que no tenemos un sistema formal para planear las prioridades, y eso está creando problemas de programación en la planta de producción.

"En mi opinión, la culpa es también de nuestros departamentos de compras y marketing. Al parecer, muchas veces tenemos desabasto de partes compradas, a pesar de que hemos trabajado en estrecha colaboración con el grupo de Jayne Spring para obtener estimaciones realistas del tiempo de espera. Y marketing no deja de recibir pedidos de último minuto de los clientes favoritos. Estos pedidos hacen que nuestro programa maestro de producción se vuelva un caos".

"Pues bien, ya empiezo a hartarme de esto", interrumpió Prout. "Habla con todos los que están a cargo de estas operaciones y averigua en qué consiste exactamente la falla. Espero que me entregues un informe completo dentro de dos semanas con todos los detalles y recomendaciones para mejorar la situación".

Jacobs salió de la oficina de Prout decidido a llegar al fondo del asunto. Para empezar, visitó a Sam McKenzie, el superintendente de la fábrica.

Producción

La conversación de Jacobs con McKenzie indicó que el sistema informal anterior al de MRP todavía estaba muy vigente. "Empiezo a tener mis dudas sobre este sistema MRP, aunque parezca muy bueno en el papel", comentó McKenzie. "La semana pasada casi no tuvimos trabajo y me vi en la necesidad de recurrir a la sobreproducción de varios pedidos, solamente para mantener ocupado a todo el personal. Esta semana sucede lo contrario: se han expedido tantos nuevos pedidos con plazos tan cortos que casi todos los empleados tendrán que trabajar tiempo extra. ¡Aquí o te mueres de hambre o te das un festín! Tal parece que los planificadores de nuestras prioridades no actualizan las fechas de vencimiento asignadas a cada pedido, siendo que, en realidad, las cosas cambian muy de prisa en esta planta.

"Otra cuestión son los registros de inventario. Cuando recibo un pedido, reviso primero el registro de inventario de ese elemento para enterarme de cuál es la situación del inventario actual. Con mucha frecuencia, resulta que el número real de unidades presentes es inferior al que indican los registros. Esto significa que tengo que producir más de lo que estaba planeado, lo que crea un descontrol absoluto en nuestros planes de capacidad. ¡No podemos cumplir con nuestros tiempos de espera cuando las cosas son tan inciertas en este lugar!"

Compras

La siguiente conversación de Jacobs fue con Jayne Spring, la gerente de compras. El resultado fue igualmente desconcertante. "Nuestros agentes de compras se sienten realmente frustrados con este nuevo sistema. No les queda tiempo para realizar compras creativas. Casi todo su tiempo lo dedican a dar seguimiento a los pedidos atrasados, pues constantemente llegan avisos de acción para que aceleremos las cosas. Por ejemplo, el otro día recibimos un aviso del sistema para entregar 200 unidades de la parte HL222P en sólo dos semanas. Lo intentamos con todos los proveedores posibles, pero todos dijeron que era imposible entregarla en dos semanas. ¿Qué están haciendo los planificadores? Lo más desconcertante es que el tiempo de espera planeado en el registro de inventario para esta parte está correctamente calculado en cuatro semanas. ¿Acaso la MRP no hace compensaciones para ajustar el tiempo de espera? Además, también tenemos problemas con los tiempos de entrega de proveedores poco dignos de confianza. Esto nos obliga a mantener más inventario de seguridad de lo necesario, en el caso de ciertos elementos".

Jacobs trató de asimilar toda esta información. En seguida, se dispuso a recopilar todos los datos necesarios acerca de las lámparas laterales y los faros delanteros (que se presentan en las tablas 15.9 a 15.13 y en la figura 15.43), y decidió investigar más a fondo el problema, para lo cual preparó la explosión MRP, en forma manual, para las seis semanas siguientes.

TABLA 15.9 Números de partes y descripciones

Número de parte	Descripción
C206P	Tornillos
C310P	Empaque de goma posterior
HL200E	Faro delantero
HL211A	Subunidad de bastidor delantero
HL212P	Cristal delantero
HL222P	Módulo de faro delantero
HL223F	Bastidor delantero
SL100E	Lámpara lateral
SL111P	Cristal lateral
SL112A	Subunidad de bastidor lateral
SL113P	Empaque de goma para cristal lateral
SL121F	Bastidor lateral
SL122A	Subunidad de bombilla lateral
SL123A	Subunidad de bombilla intermitente
SL131F	Arandela y receptáculo de cable lateral
SL132P	Bombilla lateral
SL133F	Arandela y receptáculo de cable para luces intermitentes
SL134P	Bombilla intermitente

TABLA 15.10 Programa maestro de producción

Descripción y número de parte del elemento	Cantidad	Fecha de inicio del MPS
Faro delantero (HL200E)	120	Semana 14
	90	Semana 15
	75	Semana 16
Lámpara lateral (SL100E)	100	Semana 13
	80	Semana 15
	110	Semana 16

TABLA 15.11 Demanda de partes de repuesto

Descripción y número de parte del elemento	Cantidad	Fecha
Lámpara lateral (SL111P)	40	Semana 13
	35	Semana 16

TABLA 15.12 Datos seleccionados de los registros de inventario

Número de parte	Tiempo de espera (semanas)	Inventario de seguridad (unidades)	Regla del tamaño del lote	Inventario disponible (unidades)	Recepción programada (unidades y fechas de entrega)
C206P	1	30	FOQ = 2,500	150	—
C310P	1	20	FOQ = 180	30	180 (semana 12)
HL211A	2	0	LxL	10	50 (semana 12)
HL212P	2	15	FOQ = 350	15	—
HL222P	4	10	POQ (*P* = 4 semanas)	50	110 (semana 14)
HL223F	1	0	LxL	70	—
SL111P	2	0	FOQ = 350	15	—
SL112A	3	0	LxL	20	100 (semana 13)
SL113P	1	20	FOQ = 100	20	—
SL121F	3	0	LxL	0	70 (semana 13)
SL122A	1	0	LxL	10	50 (semana 12)
SL123A	1	0	LxL	0	—
SL131F	2	0	POQ (*P* = 2 semanas)	0	—
SL132P	1	25	FOQ = 100	35	100 (semana 12)
SL133F	2	0	POQ (*P* = 2 semanas)	0	180 (semana 12)
SL134P	1	25	FOQ = 100	20	100 (semana 11)

La tarea asignada a usted

Póngase en el lugar de Jacobs y redacte el informe solicitado por su jefe, Ollie Prout. Específicamente, se requiere que usted realice una explosión MRP en forma manual, que refleje las cifras correspondientes a las lámparas laterales y los faros delanteros para las seis semanas siguientes (a partir de la semana en curso). Suponga que hoy está empezando la semana 11. Llene el formulario para las emisiones planeadas de pedidos, que se presenta en la tabla 15.13. Ahí deberá registrar las emisiones planeadas de pedidos de todos los elementos para las seis semanas siguientes. Incluya este formulario en su informe.

En su informe deberá identificar los aspectos positivos y negativos de la puesta en marcha del MRP en Flashy Flashers. Complemente su informe con las hojas de trabajo correspondientes a la explosión MRP manual, indicando dónde deben hacerse ajustes en las emisiones de pedidos y las recepciones programadas. Finalmente, presente sus sugerencias para llevar a cabo los cambios necesarios.

Fuente: Este caso fue preparado por el profesor Soumen Ghosh, Georgia Institute of Technology, para efectos de discusión en el aula únicamente.

TABLA 15.13 | Formulario para la emisión planeada de pedidos

Anote en los espacios correspondientes las expediciones planeadas de pedidos de todos los componentes.

	Semana					
Descripción y número de parte del elemento	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
Cristal lateral (SL111P)						
Empaque de goma para cristal lateral (SL113P)						
Subunidad de bastidor lateral (SL112A)						
Bastidor lateral (SL121F)						
Subunidad de bombilla lateral (SL122A)						
Subunidad de bombilla intermitente (SL123A)						
Arandela y receptáculo de cable lateral (SL131F)						
Arandela y receptáculo de cable para luces intermitentes (SL133F)						
Bombilla lateral (SL132P)						
Bombilla intermitente (SL134P)						
Subunidad de bastidor delantero (HL211A)						
Cristal delantero (HL212P)						
Módulo de faro delantero (HL222P)						
Bastidor delantero (HL223F)						
Empaque de goma posterior (C310P)						
Tomillos (C206P)						

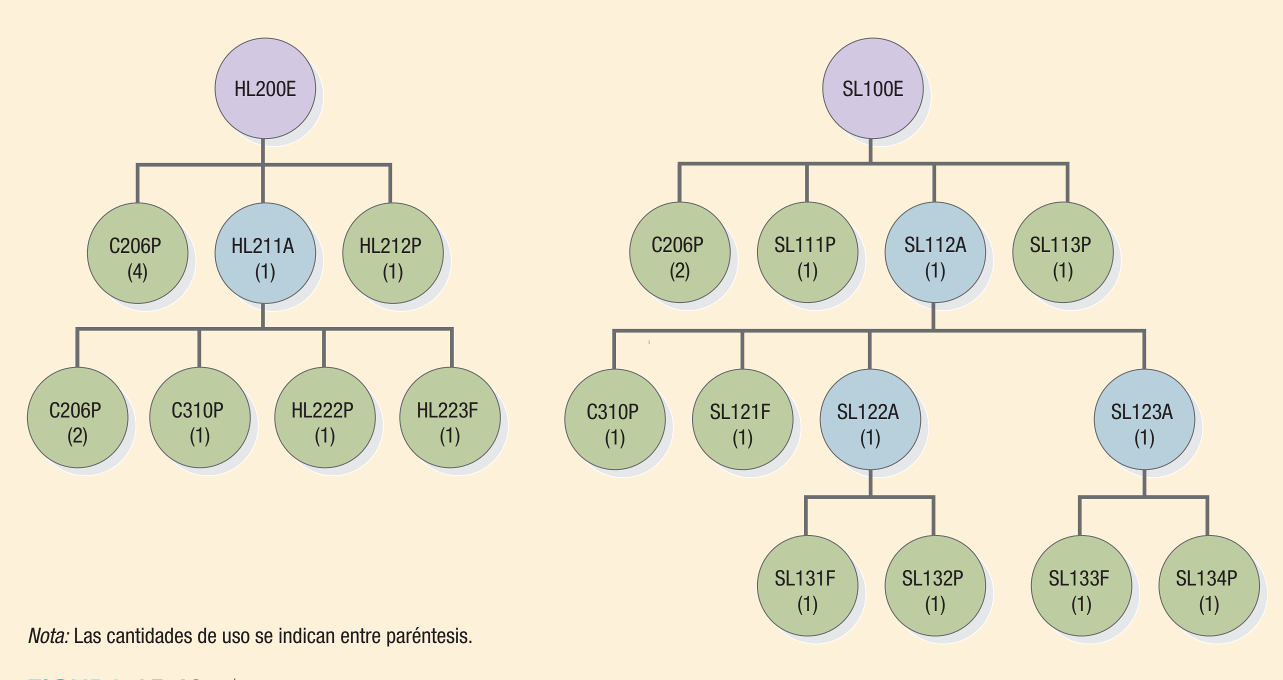


FIGURA 15.43 | BOM para faros delanteros y lámparas laterales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blackstone, J. H., *Capacity Management,* Cincinnati, South-Western, 1989.

Bruggeman, J. J. y S. Haythornthwaite, "The Master Schedule", *APICS—The Performance Advantage,* octubre de 1991, pp. 44–46.

Conway, Richard W., "Linking MRP II and FCS", *APICS—The Performance Advantage,* junio de 1996, pp. 40–44.

Cotten, Jim, "Starting from Scratch", *APICS—The Performance Advantage,* noviembre de 1996), pp. 34–37.

Davenport, Thomas H., "Putting the Enterprise into the Enterprise System", *Harvard Business Review,* julio-agosto de 1998, pp. 121–131.

Dollries, Joseph, "Don't Pick a Package—Match One", *APICS—The Performance Advantage,* mayo de 1996, pp. 50–52.

Goddard, Walter y James Correll, "MRP II in the Year 2000", *APICS—The Performance Advantage,* marzo de 1994, pp. 38–42.

Goldratt, E. M., *Theory of Constraints,* Great Barrington, MA, North River Press, 1990.

Haddock, Jorge y Donald E. Hubicki, "Which Lot-Sizing Techniques Are Used in Material Requirements Planning?", *Production and Inventory Management Journal,* volumen 30, número 3, 1989, pp. 53–56.

Hoy, Paul A., "The Changing Role of MRP II", *APICS—The Performance Advantage,* junio de 1996, pp. 50–53.

Jacobs, F. Robert y D. Clay Whybark, *Why ERP?,* Nueva York, Irwin McGraw-Hill, 2000.

Jemigan, Jeff, "Comprehensiveness, Cost-Effectiveness Sweep Aside Operations Challenges", *APICS—The Performance Advantage,* marzo de 1993, pp. 44–45.

Lunn, Terry y Susan Neff, *MRP: Integrating Material Requirements Planning and Modern Business,* Homewood, IL, Irwin Professional Publishing, 1992.

Melnyk, Steven A., Robert Sroufe, Frank Montabon, Roger Calantone, R. Lal Tummala y Timothy J. Hinds, "Integrating Environmental Issues into Material Planning: 'Green' MRP", *Production and Inventory Management Journal,* tercer trimestre de 1999, pp. 36–45.

Ormsby, Joseph G., Susan Y. Ormsby y Carl R. Ruthstrom, "MRP II Implementation: A Case Study", *Production and Inventory Management,* volumen 31, número 4, 1990, pp. 77–82.

Prouty, Dave, "Shiva Finite Capacity Scheduling System", *APICS—The Performance Advantage,* abril de 1997, pp. 58–61.

Ptak, Carol, *MRP and Beyond,* Homewood, IL, Irwin Professional Publishing, 1996.

Roth, Aleda V. y Roland Van Dierdonck, "Hospital Resource Planning: Concepts, Feasibility y Framework", *Production and Operations Management,* volumen 4, número 1, 1995, pp. 2–29.

Scalle, Cedric X. y Mark J. Cotteleer, *Enterprise Resource Planning (ERP),* Boston, MA, Harvard Business School Publishing, 1999, Núm. 9-699-020.

Srinivasan, Mandyam, Darren Jones y Alex Miller, "Corps Capabilities", *APICS Magazine,* marzo de 2005, pp. 46–50.

Steele, Daniel C., Patrick R. Philipoom, Manoj K. Malhotra y Timothy D. Fry, "Comparisons Between Drum-Buffer-Rope and Material Requirements Planning: A Case Study", *International Journal of Production Research,* volumen 43, número 15, 2005, pp. 3181–3208.

Turbide, David A., "This Is Not Your Father's MRP!", *APICS—The Performance Advantage,* marzo de 1994, pp. 28–37.

Umble, M. M. y M. L. Srikanth, *Synchronous Management-Profit Based Manufacturing for the 21st Century,* volumen 2, Wallingford, CT, Spectrum Publishing Company, 1997.

Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark y F. R. Jacobs, *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*, 5a. edición, Nueva York, Irwin/McGraw-Hill, 2004.

Wallace, Thomas F., *Sales & Operations Planning: The How-To Handbook,* 2a.

16



OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Después de leer este capítulo, usted podrá:

1. Definir las medidas fundamentales del desempeño que deben tomarse en consideración al seleccionar un programa.
2. Identificar las situaciones en que la demanda puede programarse por citas, reservaciones o acumulación de pedidos.
3. Describir los componentes de los sistemas de planificación avanzada que vinculan los programas de operaciones a la cadena de suministro.
4. Explicar la importancia de la programación para el desempeño de la empresa.
5. Determinar un programa de empleados que prevea dos días consecutivos de descanso por empleado.
6. Determinar programas para una o varias estaciones de trabajo.

La programación en una línea de aviación como Air New Zealand es una tarea compleja. Por ley, sólo se permite que las tripulaciones de vuelo estén en servicio un cierto número de horas diarias, lo que puede causar complicaciones en caso de que se presenten retrasos por mal tiempo o reparaciones.

CAPÍTULO 16

Programación

AIR NEW ZEALAND

¿Qué importancia tiene la programación para una compañía de aviación? Desde luego, la satisfacción de los clientes en cuanto a la puntualidad es crucial en una industria altamente competitiva, como la del transporte aéreo. Además, las aerolíneas pierden mucho dinero cuando equipo costoso, como un avión, está ocioso. Sin embargo, la programación de vuelos y tripulaciones es un proceso complejo. Por ejemplo, Air New Zealand tiene 9,000 empleados y opera más de 85 vuelos nacionales y 50 internacionales todos los días. La programación empieza con un plan de mercado a cinco años en el que se identifican los segmentos de vuelo nuevos y existentes que se necesitan para seguir siendo competitivos en la industria. Este plan general se pule y se ajusta a tres años; en seguida, se convierte en un presupuesto anual en el que los segmentos de vuelo tienen horas específicas de llegada y salida.

A continuación, la disponibilidad de las tripulaciones debe corresponder a los programas de vuelo. Hay dos tipos de tripulaciones: pilotos y asistentes de vuelo, y cada uno tiene su propio conjunto de restricciones. Por ejemplo, no se pueden programar más de 35 horas de trabajo de los pilotos en una semana de siete días ni tampoco más de 100 horas en un ciclo de 28 días. Los pilotos también deben tener un descanso de 36 horas cada siete días y 30 días de descanso en un ciclo de 84 días. Se emplean modelos complejos de optimización para diseñar programas genéricos a costo mínimo que cubren todos los vuelos y toman en consideración todas las restricciones. Los periodos de servicio de cada piloto comienzan y terminan en una base de tripulaciones y consisten en una secuencia alternada de lapsos de trabajo y de descanso, y los de trabajo incluyen uno o más vuelos. Los periodos de servicio se anuncian y los miembros de las tripulaciones se ofrecen para el trabajo dentro un periodo especificado. Las listas de tripulación reales se conforman a partir de las propuestas recibidas. La lista debe garantizar que cada vuelo tenga una tripula-



Para recursos adicionales del capítulo, consulte el CD-ROM del estudiante o el sitio Web complementario en
www.pearsoneducacion.net/krajewski

ción competente y que cada miembro de ésta tenga un programa factible durante el periodo que cubre la lista. Desde el punto de vista de la tripulación, también es importante que se satisfaga la mayor cantidad posible de sus peticiones y preferencias.

Sin embargo, la programación no termina con la determinación de los vuelos y las listas de tripulación. Hay trastornos todos los días, como mal tiempo o fallas mecánicas, que provocan cambios en los programas y afectan a los asistentes, los pilotos e incluso a los aviones. Los clientes esperan que estos problemas se resuelvan rápidamente, y la compañía necesita encontrar la solución al costo más bajo posible. En la industria de la aviación comercial, el proceso de programación puede determinar la fortaleza competitiva a largo plazo de la compañía.

Fuentes: David M. Ryan, "Optimization Earns Its Wings", *OR/MS Today, abril de 2000, pp. 26-30;* "Service Scheduling at Air New Zealand", *Operations Management 8e Video Library* (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2007).

programación
La asignación de recursos a través del tiempo para la realización de tareas específicas.

Como demuestra el ejemplo de la programación de tripulaciones en Air New Zealand, la programación eficaz es esencial para las operaciones exitosas. La **programación** asigna recursos a través del tiempo para la realización de tareas específicas. Hasta este momento en el texto, se ha analizado el diseño de los procesos, cómo se vinculan para formar cadenas de valor y las principales técnicas de planificación para operarlas con eficacia. La programación es lo que hace que todas estas actividades fructifiquen. Por ejemplo, los servicios de protección de la policía deben tener calidad uniforme, entrega rápida, flexibilidad en la variedad y el volumen, y ser de bajo costo. Deben tomarse decisiones acerca de la localización de las jefaturas de policía y la cantidad de autos patrulla con que cada una de ellas debe contar. También hay que seleccionar la tecnología informática y los métodos de pronóstico apropiados para calcular los servicios policiales por hora, día, semana, mes y año. En seguida, es necesario elaborar un plan de personal para cada estación.

Sin embargo, todas estas actividades de diseño y planificación no cumplirán las prioridades competitivas de los servicios de la policía si no se crean programas de trabajo eficaces para los oficiales de policía. La programación es el vínculo crucial entre las etapas de planificación y ejecución de las operaciones. Sin una buena programación, las cadenas de valor no realizarán su potencial. Por esta razón, el software de administración de cadenas de suministro y los sistemas de planificación de recursos empresariales que incluyen aplicaciones de programación se están volviendo cada vez más comunes.

Aunque es un aspecto importante de la administración de la cadena de valor, la programación es, en sí misma, un proceso. Requiere recopilar datos de diversas fuentes, como pronósticos de demanda o pedidos de clientes específicos, disponibilidad de los recursos con base en el plan de ventas y operaciones y las restricciones concretas de empleados y clientes que deben tomarse en cuenta. En seguida, requiere la generación de un programa de trabajo para los empleados o un programa de producción para el proceso manufacturero. El programa tiene que coordinarse con los empleados y proveedores para asegurar que todas las restricciones se satisfagan. Como ocurre con cualquier proceso, éste puede medirse contra las prioridades competitivas de la empresa, que pueden incluir las operaciones de bajo costo (¿cuánto cuesta crear un programa?), rapidez en la entrega (¿a qué velocidad pueden generarse los programas?), calidad uniforme (¿con qué frecuencia deben revisarse los programas después de que se ponen en marcha?) y flexibilidad en la variedad (¿cuántos grupos diferentes de empleados, servicios o productos puede manejar?).

programación de la demanda
Un tipo de programación en la cual se asigna a los clientes a una fecha definida para el surtido de sus pedidos.

programación de la fuerza de trabajo
Un tipo de programación con la cual se determina cuándo deberán trabajar los empleados.

programación de operaciones
Un tipo de programación con la cual se asignan trabajos a las máquinas o empleados a los trabajos durante periodos específicos.

Este capítulo comienza con una exposición de la programación en procesos de servicios y manufactureros, que se centra en las medidas útiles del desempeño y la aplicación de gráficos de Gantt. A continuación, se aborda la **programación de la demanda,** que implica asignar a los clientes a una fecha definida para el surtido de sus pedidos. En seguida, se estudiará la **programación de la fuerza de trabajo,** con la cual se determina cuándo deberán trabajar los empleados. Por último, se explorarán varias técnicas de **programación de operaciones,** con la cual se asignan trabajos a las máquinas o empleados a los trabajos durante periodos específicos. La solución eficaz de estos tres problemas de programación ayuda a los gerentes a realizar todo el potencial de las cadenas de valor.

PROGRAMACIÓN EN LA ORGANIZACIÓN

La programación es importante tanto para los procesos de servicios como para los manufactureros. Independientemente de que la empresa sea una línea de aviación, hotel, fabricante de computadoras o universidad, los programas forman parte de la vida diaria. Los programas comprenden una enorme cantidad de detalles y afectan a todos los procesos de la empresa. Por ejemplo, los programas de servicios, productos y empleados determinan las necesidades específicas de flujo de efectivo, ponen en marcha el proceso de facturación de la empresa e inician los requerimientos

del proceso de capacitación de los empleados. El proceso de surtido de pedidos depende del buen desempeño en términos de las fechas en que deben entregarse los servicios o productos prometidos, lo que es resultado de un buen proceso de programación. Además, cuando los clientes colocan pedidos usando un proceso de entrada de pedidos basado en Web, el proceso de programación determina cuándo pueden esperar recibir su pedido. Sin lugar a duda, independientemente de la disciplina de que se trate, los programas afectan a todos en las empresas.

En virtud del desarrollo del hardware y software de computación y la disponibilidad de Internet, las empresas han transformado el proceso de programación en un arma competitiva. En este capítulo se explica cómo las empresas usan el proceso de programación para reducir sus costos y mejorar la capacidad de respuesta de la cadena de suministro, encontrando la forma de producir programas complejos con rapidez. Estos programas tienen impacto en las operaciones a lo largo de la cadena de suministro en todo el mundo.

USO DE LAS OPERACIONES PARA COMPETIR

Las operaciones como arma competitiva
Estrategia de operaciones
Administración de proyectos

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Estrategia de procesos
Análisis de procesos
Desempeño y calidad de los procesos
Administración de restricciones
Distribución de los procesos
Sistemas esbeltos

ADMINISTRACIÓN DE CADENAS DE VALOR

Estrategia de cadena de suministro
Localización
Administración de inventarios
Pronósticos
Planificación de ventas y operaciones
Planificación de recursos
Programación

> PROGRAMACIÓN DE PROCESOS DE SERVICIOS Y MANUFACTUREROS <

Las técnicas de programación que se analizan en este capítulo afectan a los diferentes procesos que se encuentran tanto en la industria de servicios como en la manufactura. Muchas empresas de servicios se caracterizan por un *proceso de mostrador* con un alto nivel de contacto con el cliente, flujos de trabajo flexibles, personalización y, en consecuencia, un entorno en el que la programación es compleja. No se pueden usar los inventarios para amortiguar la incertidumbre de la demanda, lo que da mayor importancia a la programación de los empleados para manejar las necesidades variadas de los clientes. La programación de la demanda y la fuerza de trabajo son dos técnicas útiles en las industrias de servicios. En el otro extremo de la industria de servicios, un *proceso de trastienda* tiene poca relación con los clientes, usa más flujos lineales de trabajo y ofrece servicios estandarizados. Se procesan objetos inanimados; estos procesos se parecen mucho a los procesos manufactureros. En este caso, los programas de la fuerza de trabajo son importantes, lo mismo que los programas de operaciones.

Los procesos de manufactura también se benefician de las técnicas de programación de la demanda, la fuerza de trabajo y las operaciones. El análisis de las técnicas de programación de operaciones que se presenta en este capítulo tiene aplicación en procesos por trabajo, por lotes y lineales en los servicios, así como en las manufacturas. Los programas de procesos continuos se pueden desarrollar con la *programación lineal.* Aunque las técnicas de programación que se estudian en este capítulo proporcionan cierta estructura a la selección de los programas de productos, es muy común que tengan que evaluarse muchas alternativas. Antes de explorar las técnicas para generar programas de trabajos y empleados, se describirán las medidas del desempeño que los gerentes emplean para seleccionar buenos programas.

MEDIDAS DEL DESEMPEÑO

Desde la perspectiva del gerente, es importante identificar las medidas del desempeño que utilizará para seleccionar un programa. Para alcanzar las prioridades competitivas de un proceso, los programas deben reflejar medidas del desempeño que la gerencia considere aceptables y que concuerden con dichas prioridades competitivas. Las siguientes medidas del desempeño se usan comúnmente para programar procesos de servicios y manufactureros. En este sentido, un *trabajo* es el objeto que recibe el servicio o se está fabricando. Por ejemplo, un trabajo puede ser un cliente que espera a que lo atiendan en la oficina gubernamental de expedición de licencias para conducir, o puede ser un lote de pistones en espera de un proceso manufacturero.

- *Tiempo de flujo del trabajo*. La cantidad de tiempo que un trabajo pasa en el sistema de servicio o manufacturero se conoce como **tiempo de flujo del trabajo**. Es la suma del tiempo que hay que esperar para recibir atención de un dependiente o para que se desocupe una máquina, el tiempo del proceso (incluidas las preparaciones), el tiempo de tránsito entre las distintas operaciones y los retrasos ocasionados por averías de las máquinas, la falta de disponibilidad de los bienes o componentes facilitadores y otras cosas por el estilo. La minimización de los tiempos de flujo del trabajo apoya las prioridades competitivas de costo (menos inventario) y tiempo (rapidez en la entrega).

  Tiempo de flujo del trabajo = Tiempo de terminación – Tiempo en que el trabajo estuvo disponible para la primera operación de procesamiento.

  Observe que el tiempo de inicio es el tiempo en el que el trabajo estuvo disponible para la primera operación de procesamiento, y no necesariamente el momento en que se inició la primera operación de dicho trabajo. El tiempo de flujo del trabajo se conoce a veces como *tasa de producción en cuanto al tiempo* o *tiempo pasado en el sistema, incluido el servicio.*

tiempo de flujo del trabajo
La cantidad de tiempo que un trabajo pasa en el servicio o sistema manufacturero.

- *Lapso de fabricación*. El tiempo total necesario para completar un *grupo* de trabajos se conoce como **lapso de fabricación** (*makespan*). La minimización del lapso de fabricación

lapso de fabricación
El tiempo total necesario para completar un *grupo* de trabajos.

retraso
La cantidad de tiempo en que un trabajo no fue entregado en la fecha convenida, o como el porcentaje del total de trabajos procesados durante cierto periodo que no estuvieron listos en las fechas de entrega convenidas.

impuntualidad
Véase **retraso**

inventario de trabajo en proceso (WIP)
Cualquier trabajo que esté en una fila de espera, en tránsito de una operación a otra, retrasado por alguna razón, en pleno procesamiento o en un estado semiacabado.

inventario total
La suma de las recepciones programadas y los inventarios disponibles.

apoya las prioridades competitivas de costo (menos inventario) y tiempo (rapidez en la entrega).

Lapso de fabricación = Tiempo de terminación del último trabajo – Tiempo de inicio del primer trabajo

- *Retraso*. La medida conocida como **retraso** puede expresarse como la cantidad de tiempo en que un trabajo no fue entregado en la fecha convenida (también conocida como **impuntualidad**), o como el porcentaje del total de trabajos procesados durante cierto periodo que no estuvieron listos en las fechas de entrega convenidas para cada uno de ellos. La minimización de la medida de retraso apoya las prioridades competitivas de costo (multas por no cumplir con la entrega en las fechas convenidas), calidad (percepción de deficiencias en el servicio) y tiempo (entrega puntual).
- *Inventario de trabajo en proceso*. Cualquier trabajo que esté en una fila de espera, en tránsito de una operación a otra, retrasado por alguna razón, en pleno procesamiento o en un estado semiacabado, se considera parte del **inventario de trabajo en proceso (WIP)** (del inglés *work-in-process inventory*). El WIP se conoce también como *inventario en tránsito* o como *el número de clientes en el sistema de servicio*. La minimización del inventario de WIP apoya la prioridad competitiva de costo (costos por mantenimiento de inventario).
- *Inventario total.* Esta medida del desempeño se usa para medir la eficacia de los programas para procesos manufactureros. La suma de las *recepciones programadas* y los *inventarios disponibles* es el **inventario total**.

  Inventario total = Recepciones programadas de todos los elementos + Inventarios disponibles de todos los elementos

  La minimización del inventario total apoya la prioridad competitiva de costo (costos por mantenimiento de inventario). En esencia, el inventario total es la suma de los inventarios de WIP y bienes terminados.
- *Utilización*. El porcentaje del tiempo de trabajo empleado productivamente por un trabajador o una máquina se conoce como *utilización*. La maximización de la utilización de un proceso apoya la prioridad competitiva de costo (capacidad de holgura).

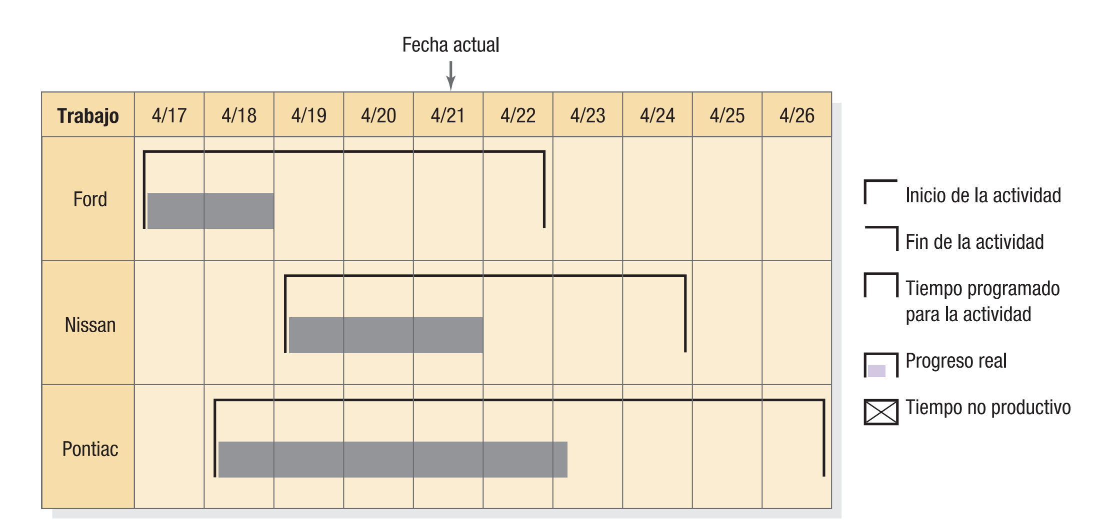
Con frecuencia, las medidas del desempeño se relacionan entre sí. Por ejemplo, el hecho de minimizar el tiempo promedio de flujo del trabajo tiende a reducir el inventario de trabajo en proceso y a aumentar la utilización. La minimización del lapso de fabricación de un grupo de trabajos tiende a incrementar la utilización. Una buena comprensión de cómo interaccionan el tiempo de flujo del trabajo, el lapso de fabricación, el retraso, el inventario de WIP, el inventario y la utilización facilita la selección de buenos programas.

GRÁFICOS DE GANTT

El *gráfico de Gantt* es una herramienta para monitorear el progreso del trabajo y ver la carga en las estaciones de trabajo. El gráfico puede adoptar dos formas fundamentales: (1) el gráfico del progreso del trabajo o la actividad, y (2) el gráfico de la estación de trabajo. El *gráfico de Gantt para progreso* representa gráficamente el estado actual de cada trabajo o actividad en relación con la fecha de terminación programada. Por ejemplo, suponga que un fabricante de autopartes tiene tres trabajos en proceso, uno para Ford, otro para Nissan y el último para Pontiac. El estado real de esos pedidos está representado por las barras en gris que aparecen en la figura 16.1; las líneas negras indican el programa deseado para el inicio y la terminación de cada trabajo. Para la fecha ac-

FIGURA 16.A

Gráfico de Gantt que muestra el progreso de los pedidos de una empresa que fabrica autopartes



tual, 21 de abril, este gráfico de Gantt muestra que el pedido de Ford está retrasado en el programa porque la división de operaciones solamente ha realizado el trabajo programado hasta el 18 de abril. El pedido de Nissan está progresando exactamente según lo previsto en el programa, y el pedido de Pontiac está adelantado con respecto al programa.

La figura 16.2 muestra un *gráfico de Gantt para estación de trabajo* que representa los quirófanos de un hospital en un día determinado. Usando la misma notación que en la figura 16.1, el gráfico muestra la carga de trabajo de los quirófanos y el tiempo no productivo. Los espacios de tiempo asignados a cada médico incluyen el tiempo necesario para limpiar el quirófano antes de la siguiente cirugía. El gráfico puede usarse para identificar espacios de tiempo para cirugías de emergencia, no programadas. También se puede usar para atender las solicitudes de cambio de hora de las cirugías. Por ejemplo, la doctora Flowers puede cambiar la hora de inicio de su cirugía a las 2 de la tarde si intercambia su espacio de tiempo con el del doctor Gillespie en el quirófano C o si le pide a la doctora Brothers que inicie su cirugía una hora antes en el quirófano A y a la doctora Bright que programe su cirugía para la mañana en el quirófano C. En todo caso, el administrador del hospital tendría que participar en la reprogramación de las cirugías.

Los gráficos de Gantt pueden usarse para generar programas de empleados o estaciones de trabajo; sin embargo, el método sólo funciona por tanteo (prueba y error). Ahora se hablará de varias técnicas que se emplean para obtener buenos programas sistemáticamente.

> PROGRAMACIÓN DE LA DEMANDA DE LOS CLIENTES <

La capacidad, que puede ser en la forma de empleados o equipo, es crucial para los proveedores de servicios y los fabricantes. Una manera de administrar la capacidad con un sistema de programación consiste en programar a los clientes en términos de periodos definidos para el surtido de sus pedidos. Con este método, se supone que la capacidad se mantiene fija y la demanda se nivela para proporcionar oportunamente el surtido de los pedidos y la utilización deseada de la capacidad. Comúnmente se utilizan tres métodos para programar la demanda de los clientes: (1) citas; (2) reservaciones, y (3) acumulación de pedidos.

CITAS

En un sistema de citas se asignan fechas y horas específicas para brindar servicio a los clientes. Las ventajas de este método son el servicio oportuno al cliente y un elevado nivel de utilización del personal de servicio. Médicos, dentistas, abogados y talleres de reparación de automóviles son ejemplos de proveedores de servicios que aplican el sistema de citas. Los médicos suelen emplear este sistema para programar su día de trabajo, dedicando una parte del mismo a visitar pacientes hospitalizados, y los abogados pueden reservar parte del tiempo para la preparación de sus casos. Sin embargo, si se intenta proveer servicios de manera oportuna, debe tenerse cuidado de adaptar la duración de las citas a las necesidades individuales del cliente, en lugar de programar todos los clientes a intervalos regulares.

RESERVACIONES

Los sistemas de reservaciones, que son bastante similares a los sistemas de citas, se emplean cuando el cliente ocupa o utiliza las instalaciones relacionadas con el servicio. Tal es el caso, por ejemplo, cuando los clientes reservan habitaciones de hotel, automóviles, asientos en aviones y

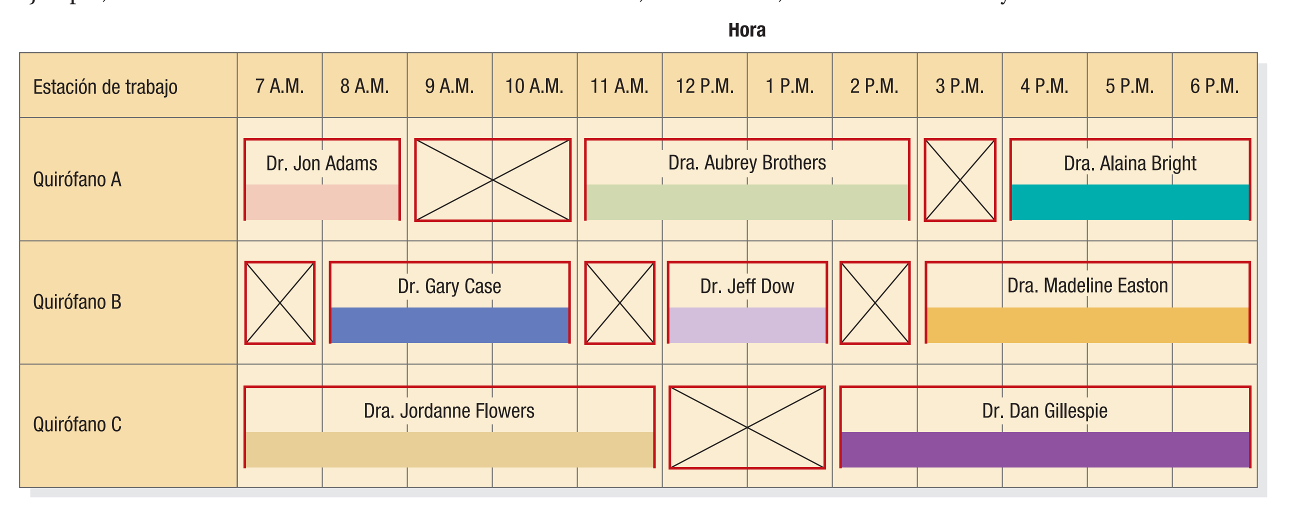


FIGURA 16.2 | Gráfico de Gantt para estación de trabajo que muestra la utilización de los quirófanos en un hospital

localidades en una sala de conciertos. La principal ventaja de los sistemas de reservaciones es el tiempo de ventaja que dan a los gerentes del servicio para planear el uso eficiente de las instalaciones. Las reservaciones requieren a menudo alguna forma de pago inicial para reducir el problema de que el cliente decida no presentarse.

ACUMULACIÓN DE PEDIDOS

La acumulación de pedidos adopta una de dos formas. En la primera, se da al cliente una *fecha de entrega* para surtir el pedido de un producto. Por ejemplo, el departamento de reparaciones de un distribuidor de automóviles puede acordar con un fabricante de autopartes recibir la entrega de un lote de 100 seguros para puertas de un modelo específico de automóvil el próximo martes. El fabricante de partes usa la fecha de entrega para planear la producción de seguros para puerta dentro de los límites de su capacidad. El equivalente de la fecha de entrega en los servicios es el uso de citas o reservaciones.

La segunda forma consiste en dejar simplemente que los pedidos se vayan acumulando a medida que llegan al sistema. En este caso, es posible que los clientes nunca sepan con exactitud cuándo se va a surtir su pedido. Ellos presentan su solicitud a un empleado que toma el nuevo pedido y lo añade a la fila de espera de los pedidos que ya están en el sistema. Los talleres de reparación de televisores, restaurantes, bancos, tiendas de víveres o cualquier otra situación en la que se formen filas de espera son algunos ejemplos del uso de este sistema de programación de la demanda.

> PROGRAMACIÓN DE LOS EMPLEADOS <

Otra forma de administrar la capacidad por medio de un sistema de programación consiste en especificar los periodos de trabajo y descanso de cada empleado durante cierto periodo, como sucede cuando se asignan días y turnos específicos de trabajo a los empleados de correos, enfermeras, pilotos, asistentes u oficiales de policía. Este método se utiliza cuando los clientes exigen una respuesta rápida y la demanda total puede pronosticarse con un grado razonable de precisión. En esas circunstancias, la capacidad se ajusta a fin de satisfacer las cargas esperadas en el sistema de servicio.

Los programas de la fuerza de trabajo traducen el plan de personal en programas específicos de trabajo para cada empleado. Por sí solo, el hecho de determinar qué días trabajará cada empleado no hace que el plan de personal funcione bien. Para eso, deben satisfacerse los requisitos diarios de personal, expresados en términos agregados en el plan de personal. La capacidad de la fuerza de trabajo disponible cada día tiene que ser igual o mayor que los requisitos diarios de personal. Si no es así, el programador debe tratar de reorganizar los días de asueto, hasta que dichos requisitos se satisfagan. Si no es posible encontrar tal programa, la gerencia quizá tendrá que cambiar el plan de personal y contratar más empleados, autorizar tiempo extra o permitir una mayor acumulación de pedidos.

RESTRICCIONES

Las restricciones técnicas impuestas en el programa de la fuerza de trabajo son los recursos proporcionados por el plan de personal y los requisitos impuestos sobre el sistema operativo. Sin embargo, es posible aplicar otras restricciones e incluso algunas consideraciones de carácter legal y otras relacionadas con el comportamiento. Por ejemplo, Air New Zealand tiene la obligación de contar un número mínimo de asistentes de vuelo, cuando menos, que estén de guardia en todo momento. Asimismo, es posible que un número mínimo de personal de bomberos y de seguridad tenga que estar de guardia continuamente en una estación de bomberos. Estas restricciones limitan la flexibilidad de la gerencia para establecer los programas de la fuerza de trabajo.



Cuando se trata de servicios como los que prestan los bomberos, los programadores no pueden administrar la demanda de los clientes. Los incendios ocurren en un momento imperioso. Por lo tanto, la capacidad de la fuerza de trabajo que está disponible cada día en una estación de bomberos tiene que satisfacer o superar los requisitos diarios.

Las restricciones impuestas por las necesidades psicológicas de los trabajadores complican todavía más la programación. Algunas de esas restricciones han sido incorporadas a los contratos de trabajo. Por ejemplo, un empleador puede comprometerse a conceder a los trabajadores cierto número de días consecutivos de descanso por semana, o a limitar los días laborables consecutivos de sus empleados a cierto número máximo. Otras disposiciones se refieren a la asignación de vacaciones, los días de asueto en temporadas festivas o la rotación de asignaciones a diferentes turnos de trabajo. Además, también es necesario tomar en cuenta las preferencias de los propios empleados.

Una forma en que los gerentes resuelven ciertos aspectos indeseables de la programación consiste en utilizar un **programa de rotación**, en el cual los empleados trabajan por rotación en una serie de días u horas laborales. De esta manera, en un periodo determinado, todas las personas tienen la misma oportunidad de descansar los fines de semana y los días festivos, y de trabajar ya sea durante el día o por la tarde o noche. En un programa de rotación se asigna a cada empleado el programa del siguiente empleado para la semana próxima. En cambio, en un **programa fijo** se exige que cada empleado trabaje los mismos días y horas todas las semanas.

programa de rotación
Programa en el cual los empleados trabajan por rotación en una serie de días u horas laborales.

programa fijo
Programa que exige que cada empleado trabaje los mismos días y horas todas las semanas.

DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA LA FUERZA DE TRABAJO

Suponga que le interesa desarrollar un programa de trabajo para los empleados de una compañía que opera los siete días de la semana y dar a cada empleado dos días libres consecutivos. En esta sección se demostrará un método que reconoce esta restricción.[1] El objetivo es identificar los dos días libres consecutivos para cada empleado que minimicen la cantidad de capacidad de holgura total, maximizando así la utilización de la fuerza de trabajo. Así pues, el programa de trabajo para cada empleado comprenderá los cinco días restantes, una vez que los dos días de descanso hayan sido determinados. Este procedimiento incluye los siguientes pasos:

Paso 1. A partir del programa de requisitos netos para la semana, encuentre todas las parejas de días consecutivos que excluyan los requisitos máximos diarios. Seleccione la pareja única que tenga los requisitos totales más bajos para los dos días. En algunas situaciones poco comunes, todas las parejas pueden contener un día con los requisitos máximos. En ese caso, seleccione la pareja a la que corresponda el total de requisitos más bajo. Suponga que las cifras de empleados requeridos son las siguientes:

Lunes: 8	Jueves: 12	Sábado: 4
Martes: 9	Viernes: 7	Domingo: 2
Miércoles: 2		

El requisito máximo de capacidad es de 12 empleados, los jueves. La pareja de días consecutivos que tiene los requisitos más bajos totales es la de sábado y domingo, con 4 + 2 = 6.

Paso 2. En caso de empate entre varias parejas, seleccione aquella con la cual se cumplan las disposiciones incluidas en el contrato laboral, si lo hubiere. O si no, el empate puede romperse pidiendo al empleado que está siendo programado que él mismo elija. Como último recurso, es posible romper el empate arbitrariamente. Por ejemplo, se podría dar la preferencia a las parejas de sábado y domingo.

Paso 3. Asigne al empleado la pareja de días libres seleccionada. Reste los requisitos satisfechos por el empleado de los requisitos netos para cada uno de los días que ese empleado va a trabajar. En este caso, al trabajador se le asignan el sábado y el domingo como días libres. Después de haber restado estos requisitos, el requisito del lunes es 7, el del martes es 8, el del miércoles es 1, el del jueves es 11 y el del viernes es 6. Los requisitos del sábado y el domingo no cambian porque todavía no se ha programado que ningún empleado trabaje esos días.

Paso 4. Repita los pasos 1 a 3 hasta que todos los requisitos hayan sido satisfechos o hasta que cierto número de empleados hayan sido programados.

Este método reduce la cantidad de capacidad de holgura asignada a los días cuyos requisitos son bajos y obliga a programar primero los días que tienen requisitos altos. El método reconoce también algunos de los aspectos contractuales y de comportamiento de la programación de la fuerza de trabajo en las reglas para romper los empates. Sin embargo, es posible que los programas resultantes *no* minimicen la capacidad de holgura total. Es necesario aplicar reglas diferentes para encontrar las parejas de días libres y decidir cómo romper los empates, a fin de asegurar que la capacidad de holgura total sea mínima.

Desarrollo de un programa para la fuerza de trabajo — EJEMPLO 16.1

Amalgamated Parcel Service está abierto los siete días de la semana. El programa de requisitos es el siguiente:

Día	L	M	M	J	V	S	D
Número de empleados requerido	6	4	8	9	10	3	2

[1] Véase Tibrewala, Philippe y Browne (1972), quienes presentan un método de optimización.



TUTOR 16.1

El tutor 16.1 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la programación de la fuerza de trabajo.

La gerente necesita un programa para la fuerza de trabajo en el cual se concedan dos días de descanso consecutivos a los empleados y se minimice la cantidad de capacidad de holgura total. Para romper los empates en la selección de los días libres, la programadora dará preferencia a sábados y domingos si ésta es una de las parejas empatadas. Si no es así, seleccionará arbitrariamente alguna de las parejas empatadas.

SOLUCIÓN

El viernes tiene los máximos requisitos y la pareja S-D tiene el total de requisitos más bajo. Por consiguiente, al empleado 1 se le programa para que trabaje de lunes a viernes.

Observe que al viernes le siguen correspondiendo los requisitos máximos y que los requisitos de S-D se mantienen porque son los días libres del empleado 1. Estos requisitos actualizados son los que la programadora utilizará para el siguiente empleado.

Las asignaciones de días libres para los empleados se muestran en la siguiente tabla:

Programación de los días libres

L	M	M	J	V	S	D	Empleado	Comentarios
6	4	8	9	10	3	2	1	La pareja S-D tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 1 un programa de lunes a viernes y actualice los requisitos.
5	3	7	8	9	3	2	2	La pareja S-D tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 2 un programa de lunes a viernes y actualice los requisitos.
4	2	6	7	8	3	2	3	La pareja S-D tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 3 un programa de lunes a viernes y actualice los requisitos.
3	1	5	6	7	3	2	4	La pareja L-M tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 4 un programa de miércoles a domingo y actualice los requisitos.
3	1	4	5	6	2	1	5	La pareja S-D tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 5 un programa de lunes a viernes y actualice los requisitos.
2	0	3	4	5	2	1	6	La pareja L-M tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 6 un programa de miércoles a domingo y actualice los requisitos.
2	0	2	3	4	1	0	7	La pareja S-D tiene los requisitos totales más bajos. Asigne al empleado 7 un programa de lunes a viernes y actualice los requisitos.
1	0	1	2	3	1	0	8	Cuatro parejas tienen el requisito mínimo y el total más bajo: S-D, D-L, L-M y M-Mi. Seleccione la pareja S-D de acuerdo con la regla de desempate. Asigne al empleado 8 un programa de lunes a viernes y actualice los requisitos.
0	0	0	1	2	1	0	9	Seleccione arbitrariamente la pareja D-L para romper los empates, porque la pareja S-D no tiene los requisitos totales más bajo. Asigne al empleado 9 un programa de martes a sábado y actualice los requisitos.
0	0	0	0	1	0	0	10	Elija la pareja S-D de acuerdo con la regla de desempate. Asigne al empleado 10 un programa de lunes a viernes.

En este ejemplo, el viernes siempre tiene los requisitos máximos y debe evitarse como día libre. El programa final de los empleados se muestra en la tabla siguiente.

Programa final								
Empleado	**L**	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**	**Total**
1	X	X	X	X	X	libre	libre	
2	X	X	X	X	X	libre	libre	
3	X	X	X	X	X	libre	libre	
4	libre	libre	X	X	X	X	X	
5	X	X	X	X	X	libre	libre	
6	libre	libre	X	X	X	X	X	
7	X	X	X	X	X	libre	libre	
8	X	X	X	X	X	libre	libre	
9	libre	X	X	X	X	X	libre	
10	X	X	X	X	X	libre	libre	
Capacidad, *C*	7	8	10	10	10	3	2	50
Requisitos, *R*	6	4	8	9	10	3	2	42
Holgura, $C - R$	1	4	2	1	0	0	0	8

Punto de decisión Por su considerable capacidad de holgura, este programa no es único. Por ejemplo, el empleado 9 podría tener libres el domingo y lunes, lunes y martes, o martes y miércoles, sin causar ninguna merma en la capacidad. En realidad, la compañía podría funcionar con un empleado menos, en virtud de que tiene un total de ocho días de holgura en su capacidad. Sin embargo, los viernes se requiere la presencia de los 10 empleados. Si la gerente estuviera dispuesta a contar con sólo 9 empleados los viernes, o si alguno de ellos pudiera trabajar un día de tiempo extra en forma rotativa, no se necesitaría el empleado 10. Como se aprecia en la tabla, el requisito neto restante que deberá satisfacer el empleado 10 es de un solo día en total, es decir, el viernes. De esta manera, los servicios del empleado 10 se podrían utilizar para sustituir a los empleados que se ausentaran por enfermedad o por vacaciones.

SISTEMAS COMPUTARIZADOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA FUERZA DE TRABAJO

Con frecuencia, la programación de la fuerza de trabajo significa enfrentarse a multitud de restricciones y preocupaciones. En algunos tipos de empresas, como las telefónicas, las de ventas por catálogo o las agencias que manejan líneas telefónicas de emergencia, los empleados tienen que estar de guardia las 24 horas del día, los siete días de la semana. Algunas veces, una parte del personal trabaja en horario de tiempo parcial, lo que da a la gerencia mucha flexibilidad, pero agrega un grado considerable de complejidad a los requisitos de programación. La flexibilidad se debe a la oportunidad de adaptarse satisfactoriamente a las cargas previstas mediante el uso de turnos superpuestos o turnos de duración irregular; la complejidad proviene de la necesidad de evaluar las numerosas alternativas posibles. Además, la gerencia deberá tomar en cuenta las horas de comida y los periodos de descanso, el número de turnos de trabajo y la hora de entrada de cada uno de ellos, así como los días libres que corresponderán a cada empleado. Una preocupación típica adicional es que el número de empleados en servicio en un momento dado deberá ser suficiente para atender las llamadas dentro de un tiempo razonable.

Existen sistemas computarizados de programación que facilitan la tarea de lidiar con las complejidades que implica programar a la fuerza de trabajo. El software selecciona el programa de trabajo con el cual se minimiza la suma de los costos esperados por concepto de excedentes y faltantes de personal. En la práctica administrativa 16.1 se describe la complejidad de la programación del personal en los centros de atención telefónica y cómo los sistemas computarizados de programación pueden ayudar.

> PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES <

Los programas de operaciones son planes a corto plazo elaborados con el fin de implementar el programa maestro de producción. La programación de operaciones se centra en encontrar la mejor forma de usar la capacidad existente, tomando en cuenta las restricciones técnicas de producción. Con frecuencia es necesario procesar varios trabajos en una o más estaciones de trabajo. Típicamente, pueden realizarse diversas tareas en cada estación de trabajo. Si los programas no se han planeado cuidadosamente para evitar los cuellos de botella, es posible que empiecen a formarse filas de espera. Por ejemplo, la figura 16.3 describe la complejidad de la tarea de programar un proceso de manufactura. Cuando se recibe una orden de trabajo para fabricar una parte, se procede a reunir las materias primas y se lleva el lote a la primera operación. Las flechas muestran las distin-

PRÁCTICA **ADMINISTRATIVA** 16.1

PROGRAMACIÓN DE EMPLEADOS EN CENTROS DE ATENCIÓN TELEFÓNICA

Ya es muy tarde y, de pronto, la impresora empieza a omitir varias letras en medio de cada renglón. El manual de la impresora no ayuda a resolver el problema y sacudir la máquina no contribuye en nada más que dar rienda suelta a su frustración. Entonces recurre a la línea de "ayuda" y asistencia técnica que funciona las 24 horas días, los siete días de la semana. Mientras espera a que contesten su llamada, a usted no le importa en qué país del mundo vive la persona con la que va a hablar; lo único que le interesa es que la espera sea breve, que le den la solución correcta y que la persona hable su idioma. Bienvenido al mundo de los centros de atención telefónica.

Como consumidor que tiene un problema, tal vez piense que no es muy complicado que un fabricante tenga a alguien disponible para resolver sus problemas en cualquier momento que usted necesite ayuda. En realidad, administrar un centro de atención telefónica no es tarea sencilla. Los buenos programas de la fuerza de trabajo son cruciales para el éxito de estos centros. Si se programan muy pocos agentes, se corre el riesgo de ahuyentar a los clientes. Si se programan demasiados agentes, el costo es muy alto para la compañía. Los gerentes tratan de dotar de personal a sus centros de atención telefónica de tal modo que se satisfagan ciertas medidas de desempeño. Una de estas medidas es el porcentaje de llamadas respondidas (PCA, del inglés *percentage of calls answered*) dentro de un intervalo de tiempo específico, que se conoce como objetivo de servicio (SO, del inglés service objective). En el caso típico de un centro de atención telefónica, el PCA se ubica dentro del rango de 80 a 90%, y el SO es de 15 a 30 segundos. Como es lógico, cuantos más agentes haya en el centro en cierto momento, tanto mejor será el PCA. El problema es que las necesidades de agentes cambian con el tiempo. Por ejemplo, un centro de atención telefónica puede recibir 4,500 llamadas un lunes de julio por la mañana, pero si por casualidad el día de Año Nuevo cae en lunes, el volumen podría bajar 60%. El total de horas diarias de contacto tampoco es constante. Además, es probable que las personas que llaman hablen diferentes idiomas. Por ejemplo, los clientes hablan inglés, español o alemán, pero el centro de atención telefónica puede tener grupos de agentes que hablan inglés y alemán, español y alemán o inglés y español. No es fácil determinar cuántos agentes de cada grupo deben estar disponibles en todo momento.

Por fortuna, existe software de administración de la fuerza de trabajo para ayudar a los gerentes a hacer frente a esta complejidad. Los modelos de pronóstico tecnológicamente avanzados son capaces de calcular los volúmenes de llamadas, tomando en consideración a los clientes que reciben tono de ocupado (y, por lo tanto, que necesitaban servicio, pero no lo obtuvieron cuando lo querían), los clientes que cuelgan antes de que les responda un agente y los patrones en el volumen de llamadas que dependen de acontecimientos especiales. Los modelos de pronóstico también proyectan los requisitos de idiomas para proporcionar una mejor idea de los agentes multilingües que el centro de atención telefónica necesitará en cada turno. Además, los agentes pueden estipular sus horas de entrada y salida preferidas o los días de descanso que prefieren, de tal modo que los empleados se turnan para trabajar en los turnos menos deseables. Los agentes usan Internet para solicitar cambios en sus programas de trabajo e incluso para intercambiar programas o turnos con otros empleados, lo que hace que el sistema de administración del personal sea un entorno interactivo. Los adelantos tecnológicos más recientes también incluyen la capacidad de pronosticar y programar a los agentes para que trabajen respondiendo correos electrónicos o en los foros de conversación Web. Muchas compañías han experimentado un aumento significativo en la comunicación con sus clientes a través de estas nuevas modalidades, pero, por lo general, los agentes necesitan capacitación para poder ayudar con eficacia a los clientes.

¿Cuánto impacto tiene la programación eficiente de la fuerza de trabajo en un centro de atención telefónica? Una prominente compañía que figura en la lista *Fortune* 500 estima que antes de mejorar su sistema de programación, programaban a 2,500 agentes con un 80% de eficiencia. A partir de las mejoras realizadas en el sistema, la eficiencia aumentó a 94% y produjo ahorros del orden de entre 7 y 8 millones de dólares anuales. Aunque los resultados para las compañías pequeñas son menos espectaculares, los cambios en el porcentaje indican que el impacto es considerable de todos modos.

Fuentes: Dennis Cox, "Darwinian Call Centers", *Call Center Technology Solutions,* www.tmcnet.com/articles/ccsmag/0999/0999pipkins.htm, septiembre de 1999; Jim Hogan, "Workforce Management Software: A Mission-Critical Call Center Component", *Call Center CRM Solutions*, www.tmcnet.com/articles, julio de 2000; "Skill Set Scheduling", www.pipkins.com/articles, 2005.

tas rutas que siguen los trabajos a través del proceso de manufactura, dependiendo del producto que vaya a fabricarse. En cada estación de trabajo, alguien debe determinar qué trabajo deberá procesarse a continuación, porque con frecuencia, el ritmo al que llegan los trabajos a una estación es distinto del ritmo en que la propia estación es capaz de procesarlos, dando como resultado una fila de espera. Además, en cualquier momento pueden incorporarse nuevos trabajos al proceso, con lo cual se crea un ambiente dinámico. Esta complejidad presiona a los gerentes para que establezcan procedimientos de programación capaces de manejar con eficiencia la carga de trabajo.

planta de producción intermitente

Empresa que se especializa en la producción de bajo a mediano volumen y utiliza procesos por trabajo o por lote.

planta de producción continua

Empresa que se especializa en la producción de mediano a alto volumen y utiliza procesos en línea o continuos.

Esta sección se centra en los métodos de programación que se utilizan en dos situaciones: (1) las plantas de producción intermitente, y (2) las plantas de producción continua. La **planta de producción intermitente** (*job shop*) es una empresa que se especializa en la producción de bajo a mediano volumen y utiliza procesos por *trabajo* o por *lote*. En este tipo de ambientes con flujo flexible resulta difícil programar las tareas por el alto grado de variabilidad que se observa en las rutas que siguen los trabajos y por la incesante llegada de nuevos trabajos que deben procesarse. La figura 16.3 representa una planta de producción intermitente. Una **planta de producción continua** (*flow shop*) se especializa en la producción de mediano a alto volumen y utiliza procesos *en línea* o *continuos*. En este caso es más fácil programar las tareas, porque en una instalación con flujo lineal, los trabajos siguen un patrón de flujo común por todo el sistema. Sin embargo, los errores de programación pueden ser costosos en cualquiera de las dos situaciones.

PROCEDIMIENTOS DE DESPACHO EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN INTERMITENTE

Del mismo modo que hay muchos programas factibles para un grupo específico de tareas en un conjunto determinado de estaciones de trabajo, también existen muchas formas diferentes de generar programas. Éstas abarcan desde métodos manuales sencillos, como la manipulación de gráficos de

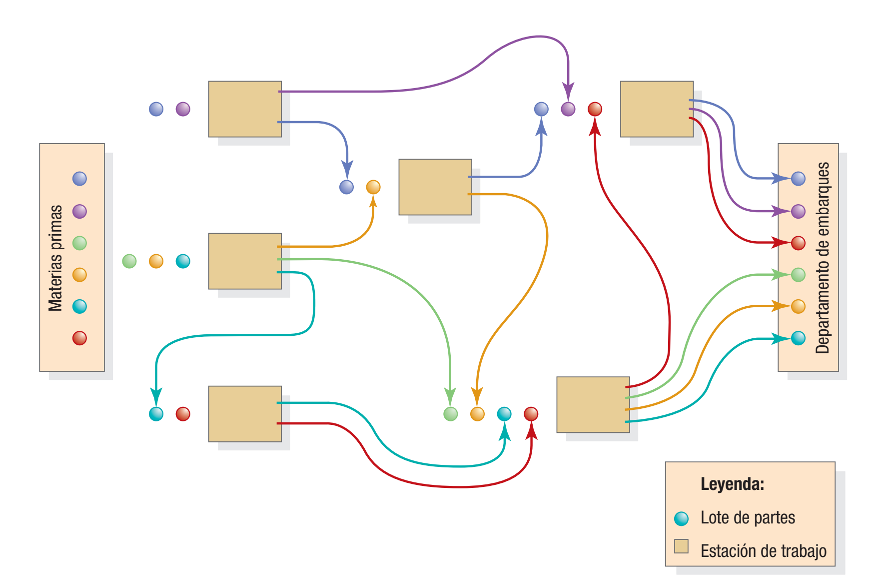


FIGURA 16.3

Diagrama de un proceso de manufactura

Gantt, hasta modelos de computadora muy complejos, para elaborar los programas óptimos. Una manera de generar programas en las plantas de producción intermitente es el procedimiento de **despacho**, que permite que el programa de una estación de trabajo evolucione a lo largo de cierto periodo. La decisión acerca de qué trabajo deberá procesarse a continuación se toma por medio de reglas de prioridad simples, siempre que la estación de trabajo está disponible para otros trabajos de procesamiento. Una ventaja de este método es que a medida que el programa evoluciona, la información de último minuto acerca de las condiciones de operación se puede incorporar a dicho programa.

Los procedimientos de despacho determinan cuál será el trabajo que se procesará a continuación con ayuda de **reglas para la secuencia de prioridades**. Cuando varios trabajos están esperando en fila en una estación de trabajo, las reglas de prioridad especifican la secuencia de procesamiento de los trabajos. Un trabajador puede aplicar estas reglas, o éstas se pueden incorporar a un sistema computarizado de programación que genere una lista de despacho de tareas y prioridades para cada estación de trabajo. Las siguientes reglas para determinar la secuencia de prioridades se usan comúnmente en la práctica.

- *Razón crítica*. La **razón crítica (CR)** (del inglés *critical ratio*) se calcula dividiendo el tiempo que falta para la fecha de vencimiento de un trabajo entre el tiempo total restante en la planta para realizar el trabajo, el cual se define como los tiempos de preparación, procesamiento, traslado y los tiempos previstos de espera de todas las operaciones restantes, incluida la operación que se está programando. La fórmula es:

$$CR = \frac{\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}}{\text{Tiempo total restante en la planta}}$$

  La diferencia entre la fecha de vencimiento y la fecha de hoy tiene que expresarse en las mismas unidades de tiempo que el tiempo total restante en la planta. Una razón menor que 1.0 implica que el trabajo está retrasado con respecto al programa, y una razón mayor que 1.0 implica que el trabajo está adelantado con respecto al programa. El trabajo que tenga la CR más baja debe programarse como el siguiente en el orden de procesamiento.
- *Fecha de vencimiento más próxima*. El trabajo que tenga la **fecha de vencimiento más próxima (EDD)** (del inglés *earliest due date*) será programado a continuación.
- *A quien llega primero, se le atiende primero*. El trabajo que haya llegado primero a la estación de trabajo tendrá la más alta prioridad, según la regla de **a quien llega primero, se le atiende primero (FCFS)** (del inglés *first come, first served*).
- *Tiempo de procesamiento más corto*. El trabajo que requiera el **tiempo de procesamiento más corto (SPT)** (del inglés *shortest processing time*) en la estación de trabajo será el que se procese a continuación.
- *Holgura por operaciones restantes*. La holgura es la diferencia entre el tiempo que falta para la fecha de vencimiento de un trabajo y el tiempo total restante en la planta, incluido el que corresponde a la operación que se está programando. La prioridad de un trabajo se determina dividiendo la holgura entre el número de operaciones restantes, con inclusión de la que se está programando, para obtener así la correspondiente **holgura por operaciones restantes (S/RO)** (del inglés *slack per remaining operations*).

$$S/RO = \frac{(\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}) - \text{Tiempo total restante en la planta}}{\text{Número de operaciones restantes}}$$

despacho
Método para generar programas en las plantas de producción intermitente en el que la decisión acerca de qué trabajo deberá procesarse a continuación se toma por medio de reglas de prioridad simples, siempre que la estación de trabajo está disponible para otros trabajos de procesamiento.

reglas para la secuencia de prioridades
Reglas que especifican la secuencia de procesamiento de los trabajos cuando varios trabajos están esperando en fila en una estación de trabajo.

razón crítica (CR)
Razón que se calcula dividiendo el tiempo que falta para la fecha de vencimiento de un trabajo entre el tiempo total restante en la planta para realizar el trabajo, el cual se define como los tiempos de preparación, procesamiento, traslado y los tiempos previstos de espera de todas las operaciones restantes, incluida la operación que se está programando.

fecha de vencimiento más próxima (EDD)
Regla para la secuencia de prioridades que especifica que el trabajo que tenga la fecha de vencimiento más próxima será programado a continuación.

a quien llega primero, se le atiende primero (FCFS)
Regla para la secuencia de prioridades que especifica que el trabajo que haya llegado primero a la estación de trabajo tendrá la más alta prioridad.

tiempo de procesamiento más corto (SPT)
Regla para la secuencia de prioridades que especifica que el trabajo que requiera el tiempo de procesamiento más corto será el que se procese a continuación.

holgura por operaciones restantes (S/RO)
Regla para la secuencia de prioridades que determina la prioridad de un trabajo dividiendo la holgura entre el número de operaciones restantes, con inclusión de la que se está programando.

El trabajo que tenga la S/RO más baja será programado a continuación. Hay muchas formas de decidir en casos de empate, cuando dos o más trabajos tienen la misma prioridad. Una de esas formas consiste en seleccionar arbitrariamente uno de esos trabajos para procesarlo a continuación.

Aun cuando las reglas para la secuencia de prioridades parecen sencillas, la tarea propiamente dicha de programar centenares de trabajos a través de cientos de estaciones de trabajo requiere una intensa labor de recopilación y manipulación de datos. El programador necesita información sobre los siguientes requisitos de procesamiento de cada trabajo: la fecha de vencimiento del mismo, sus rutas, la preparación estándar, el procesamiento y los tiempos de espera previstos en cada operación; si existe la posibilidad de usar otras estaciones de trabajo en cada operación; así como los componentes y materias primas que se requieren en cada operación. Además, el programador tiene que conocer la situación actual del trabajo: su localización (si está en una fila de espera en una estación de trabajo o se está procesando en una estación de trabajo), la parte de la operación que ya se haya realizado, los tiempos reales de llegada y salida en cada operación o fila de espera, y los tiempos reales de procesamiento y preparación. El programador aplica las reglas para la secuencia de prioridades a fin de determinar el orden en el que serán procesados los trabajos en una estación de trabajo y la información restante para estimar los tiempos de llegada de cada trabajo a la siguiente estación, decide si deberá utilizarse otra estación de trabajo cuando la principal esté ocupada y pronostica la necesidad de emplear equipo para manejo de materiales. En virtud de que esta información puede cambiar a lo largo del día, se requieren computadoras para estar al tanto de los datos y mantener la validez de las prioridades.

PROGRAMACIÓN DE TRABAJOS PARA UNA ESTACIÓN DE TRABAJO

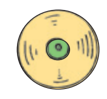
Es posible utilizar cualquier regla sobre la secuencia de prioridades para programar cualquier número de estaciones de trabajo con el procedimiento de despacho. Sin embargo, con el propósito de ilustrar esas reglas, la atención se centrará en programar varios trabajos en una sola máquina. Las reglas se dividen en dos categorías: (1) reglas para una sola dimensión, y (2) reglas para múltiples dimensiones.

reglas para una sola dimensión

Conjunto de reglas que basan la prioridad de un trabajo en un solo aspecto del mismo, como la hora de llegada a la estación de trabajo, la fecha de vencimiento o el tiempo de procesamiento.

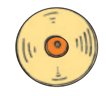
Reglas para una dimensión Algunas reglas para la secuencia de prioridades (por ejemplo, FCFS, EDD y SPT) toman como base para la asignación de prioridad de un trabajo únicamente la información sobre los demás trabajos que están en espera de ser procesados en la estación de trabajo en cuestión. Estas reglas se denominan **reglas para una sola dimensión** porque determinan las prioridades tomando como base un solo aspecto del trabajo, como la hora de llegada a la estación de trabajo, la fecha de vencimiento o el tiempo de procesamiento. Para empezar, se presentará un ejemplo de las reglas para una sola dimensión.

EJEMPLO 16.2 Comparación entre las reglas EDD y SPT



TUTOR 16.2

El tutor 16.2 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la aplicación de las reglas EDD y SPT.



MODELO ACTIVO 16.1

El modelo activo 16.1 en el CD-ROM del estudiante ayuda a comprender mejor el uso de las reglas para una sola dimensión.

The Taylor Machine Shop rectifica bloques de motor. Actualmente, hay cinco bloques en espera de procesamiento. En un momento cualquiera, la compañía sólo cuenta con un experto en motores que está de guardia y es capaz de realizar este tipo de trabajo. Los defectos de cada motor se han diagnosticado y los tiempos de procesamiento para todos los trabajos ya se estimaron. Se ha llegado a un acuerdo con los clientes del taller acerca de las fechas en que se terminarán los trabajos. La siguiente tabla muestra la situación que prevalecía el lunes por la mañana. Como The Taylor Machine Shop trabaja de las 8 de la mañana a las 5 de la tarde todos los días entre semana, además de las horas que se requieran durante el fin de semana, los tiempos al cabo de los cuales los clientes podrán recoger los trabajos se miden en horas hábiles, a partir del lunes por la mañana. Determine el programa de trabajo para el experto en motores, aplicando (a) la regla EDD y (b) la regla SPT. Para cada caso, calcule las horas promedio de adelanto, las horas de retraso, el inventario de trabajo en proceso y el inventario total. Si es crucial mantener en un nivel bajo los tiempos de flujo del trabajo y los inventarios de trabajo en proceso, ¿qué regla debe elegirse?

Bloque de motor	Tiempo de procesamiento, incluida la preparación (horas)	Tiempo programado para entregar al cliente (horas hábiles a partir de este momento)
Ranger	8	10
Explorer	6	12
Bronco	15	20
Econoline 150	3	18
Thunderbird	12	22

SOLUCIÓN

a. La regla EDD indica que el primer bloque de motor de la secuencia es el que tiene la fecha de vencimiento más cercana. Por consiguiente, el bloque de motor Ranger tiene que procesarse primero. El bloque de motor Thunderbird, cuya fecha de vencimiento es la más lejana en el futuro, se procesará en último lugar. La secuencia se presenta en la tabla siguiente, junto con los tiempos de flujo del trabajo, las horas de adelanto y las horas de retraso.

Secuencia de bloques de motor	Inicio del trabajo		Tiempo de procesamiento (h)		Tiempo de flujo del trabajo (h)	Tiempo programado para entregar al cliente	Tiempol real de entrega al cliente	Horas de adelanto	Horas de retraso
Ranger	0	+	8	=	8	10	10	2	—
Explorer	8	+	6	=	14	12	14	—	2
Econoline 150	14	+	3	=	17	18	18	1	—
Bronco	17	+	15	=	32	20	32	—	12
Thunderbird	32	+	12	=	44	22	44	—	22

El tiempo de flujo que corresponde a cada trabajo es igual al tiempo de espera más el tiempo de procesamiento. Por ejemplo, el bloque de motor Explorer tuvo que esperar 8 horas para que el experto en motores empezara a trabajar en él. El tiempo del proceso para ese trabajo es de 6 horas, por lo cual el tiempo de flujo es de 14 horas. El tiempo promedio de flujo y las demás medidas de desempeño correspondientes al programa EDD para los cinco bloques de motor son los siguientes:

$$\text{Tiempo promedio de flujo del trabajo} = \frac{8+14+17+32+44}{5} = 23 \text{ horas}$$

$$\text{Promedio de horas de adelanto} = \frac{2+0+1+0+0}{5} = 0.6 \text{ horas}$$

$$\text{Promedio de horas de retraso} = \frac{0+2+0+12+22}{5} = 7.2 \text{ horas}$$

$$\text{Inventario promedio de WIP} = \frac{\text{Suma de tiempos de flujo}}{\text{Lapso de fabricación}} = \frac{8+14+17+32+44}{44}$$

$$= 2.61 \text{ bloques de motor}$$

Se podría pensar que la suma de los tiempos de flujo es el total de *horas de trabajo* que pasan los bloques de motor en espera del experto en motores y durante su procesamiento. (En este ejemplo no hay inventarios de componentes ni de subunidades, por lo que el inventario de WIP está formado solamente por los bloques de motor que están en espera o se están procesando.) Si esta suma se divide entre el lapso de fabricación, o sea, el tiempo total requerido para completar el trabajo en todos los bloques de motor, se obtiene el inventario promedio del trabajo en proceso.

Por último,

$$\text{Inventario total promedio} = \frac{\text{Suma del tiempo en el sistema}}{\text{Lapso de fabricación}} = \frac{10+14+18+32+44}{44}$$

$$= 2.68 \text{ bloques de motor}$$

El inventario total es la suma del inventario del trabajo en proceso y los trabajos terminados que están en espera de ser recogidos por los clientes. El inventario total promedio es igual a la suma del tiempo que cada trabajo pasa en el taller (en este ejemplo, el total de las horas de trabajo empleadas en esperar la llegada del experto en motores, las de procesamiento y las transcurridas en espera de que los motores sean recogidos) dividida entre el lapso de fabricación. Por ejemplo, el primer trabajo que será recogido es el bloque de motor Ranger, el cual habrá pasado 10 horas en el sistema. A continuación será recogido el bloque de motor Explorer, después de haber pasado 14 horas de trabajo en el sistema. El tiempo que pasa un trabajo cualquiera en el sistema es igual al tiempo real al cabo del cual será recogido por el cliente, porque todos los trabajos estuvieron disponibles para el procesamiento a la hora cero.

b. De acuerdo con la regla SPT, la secuencia comienza con el bloque de motor que tiene el tiempo de procesamiento más corto, el Econoline 150, y termina con el que tiene el tiempo de procesamiento más largo, el Bronco. Los datos referentes a la secuencia, junto con los tiempos de flujo del trabajo, las horas de adelanto y las horas de retraso, están contenidos en la siguiente tabla:

Secuencia de bloques de motor	Inicio del trabajo		Tiempo de procesamiento (h)		Tiempo de flujo del trabajo (h)	Tiempo programado para entregar al cliente	Tiempol real de entrega al cliente	Horas de adelanto	Horas de retraso
Econoline 150	0	+	3	=	3	18	18	15	—
Explorer	3	+	6	=	9	12	12	3	—
Ranger	9	+	8	=	17	10	17	—	7
Thunderbird	17	+	12	=	29	22	29	—	7
Bronco	29	+	15	=	44	20	44	—	24

Las mediciones de desempeño son:

$$\text{Tiempo promedio de flujo del trabajo} = \frac{3+9+17+29+44}{5} = 20.4 \text{ horas}$$

$$\text{Promedio de horas de adelanto} = \frac{15+3+0+0+0}{5} = 3.6 \text{ horas}$$

$$\text{Promedio de horas de retraso} = \frac{0+0+7+7+24}{5} = 7.6 \text{ horas}$$

5

$$\text{Inventario promedio de WIP} = \frac{3+9+17+29+44}{44} = 2.32 \text{ bloques de motor}$$

$$\text{Inventario total promedio} = \frac{18+12+17+29+44}{44} = 2.73 \text{ bloques de motor}$$

Punto de decisión La regla SPT es evidentemente superior a la regla EDD con respecto al tiempo promedio de flujo del trabajo y el inventario promedio de WIP. Si estos criterios son más importantes que todos los demás, la gerencia debe aplicar la regla SPT.

Como se aprecia en la solución del ejemplo 16.2, el programa SPT proporciona un menor tiempo promedio de flujo del trabajo y un inventario de trabajo en proceso más bajo. Sin embargo, el programa EDD permite un mejor servicio al cliente, medido en términos del promedio de horas de retraso, y un número máximo de horas de retraso también más bajo (22 en lugar de 24). Esta solución también proporciona un inventario total más bajo porque disminuye el número de horas de trabajo que es necesario esperar para que lleguen los clientes a recoger sus bloques de motor, una vez que éstos quedan terminados. La regla de prioridad SPT empuja los trabajos a través del sistema para que sean terminados más rápidamente que con las otras reglas. La rapidez puede ser una ventaja, pero sólo si es posible entregar los trabajos antes de lo prometido y si el pago correspondiente puede cobrarse más pronto. Si no es así, el trabajo debe permanecer en el inventario de trabajos terminados, con lo cual se esfuma la ventaja de haber minimizado el inventario promedio de trabajo en proceso. Por consiguiente, la regla de prioridad seleccionada puede ayudar o perjudicar a la empresa en el logro de sus prioridades competitivas.

En el ejemplo 16.2, las reglas SPT y EDD proporcionaron programas que dieron por resultado diferentes valores para los criterios de desempeño; sin embargo, ambos programas tienen el mismo lapso de fabricación de 44 horas. Este resultado se presenta siempre cuando se realiza la programación con una sola operación para un *número fijo* de trabajos disponibles para procesamiento, sin importar qué regla de prioridad se aplique, porque no hay tiempos ociosos en las estaciones de trabajo entre dos trabajos cualesquiera.

Los investigadores han estudiado las implicaciones que tienen las reglas para una sola dimensión en diversas medidas de desempeño. En la mayoría de estos estudios se consideró que todos los trabajos eran independientes y se supuso que, en general, se disponía de capacidad suficiente. En dichos estudios se concluyó que la regla EDD funciona bien con respecto al porcentaje de trabajos retrasados y la varianza de las horas de retraso. Para cualquier conjunto de trabajos que vayan a procesarse en una sola estación de trabajo, esta regla minimiza el número máximo de horas de retraso de cualquier trabajo incluido en el conjunto. La regla EDD es muy popular entre las empresas que son sensibles a los cambios en la fecha de vencimiento, aun cuando no produce muy buenos resultados con respecto al tiempo de flujo, el inventario de trabajo en proceso o la utilización.

La regla SPT, considerada frecuentemente como la *campeona mundial*, tiende a minimizar el tiempo de flujo medio, el inventario de trabajo en proceso y el porcentaje de trabajos retrasados, al tiempo que maximiza la utilización de los recursos de la planta de producción. En el caso de una sola estación de trabajo, la regla SPT siempre proporciona el tiempo de flujo medio más bajo. Sin embargo, también podría incrementar el inventario total porque tiende a empujar todo el trabajo hacia la etapa de terminación. Además, tiende a producir una considerable varianza en las horas de retraso porque, por lo general, los trabajos más grandes tienen que esperar mucho tiempo para ser procesados. Por otra parte, no ofrece oportunidad alguna para ajustar los programas cuando se modifican las fechas de vencimiento. La ventaja de esta regla sobre otras se reduce a medida que aumenta la carga de trabajo en la planta de producción.

Finalmente, a pesar de que la regla FCFS se considera justa para los trabajos (o clientes), sus resultados son malos en relación con todas las medidas de desempeño. Este resultado es lo que podría esperarse porque en la regla FCFS no se toman en cuenta las características específicas de los diferentes trabajos (o clientes).

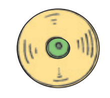
reglas para múltiples dimensiones

Conjunto de reglas aplicables a más de un aspecto del trabajo.

Reglas para múltiples dimensiones. Las reglas de prioridad, como la CR y la S/RO, incluyen información sobre las demás estaciones de trabajo en las que deberá procesarse cada trabajo, además del tiempo de procesamiento en la estación de trabajo actual o la fecha de vencimiento, que también se toman en cuenta en las reglas para una sola dimensión. A estas reglas se les llama **reglas para múltiples dimensiones** porque son aplicables a más de un aspecto del trabajo. El ejemplo 16.3 demuestra su aplicación para establecer secuencias de trabajos.

Secuencias con las reglas CR y S/RO

EJEMPLO **16.3**



TUTOR 16.3

El tutor 16.3 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la aplicación de las reglas CR y S/RO.

Las cinco primeras columnas de la tabla siguiente contienen información sobre un conjunto de cuatro trabajos que actualmente están en espera de ser procesados en un torno de engranaje para roscar. Faltan varias operaciones, incluida la que se llevará a cabo en el torno, por realizar con cada uno de esos trabajos. Determine el programa aplicando (a) la regla CR, y (b) la regla S/RO. Compare estos programas con los generados por las reglas FCFS, SPT y EDD.

Trabajo	Tiempo de operación en el torno para roscar (h)	Tiempo que falta para la fecha de vencimiento (días)	Número de operaciones restantes	Tiempo restante en la planta (días)	CR	S/RO
1	2.3	15	10	6.1	2.46	0.89
2	10.5	10	2	7.8	1.28	1.10
3	6.2	20	12	14.5	1.38	0.46
4	15.6	8	5	10.2	0.78	−0.44

SOLUCIÓN

a. Aplicando la CR para programar la máquina, se divide el tiempo que falta para la fecha de vencimiento entre el tiempo restante en la planta de producción para obtener el índice de prioridad de cada trabajo. Para el trabajo 1:

$$\text{CR} = \frac{\text{Tiempo que falta para la fecha de vencimiento}}{\text{Tiempo restante en la planta de producción}} = \frac{15}{6.1} = 2.46$$

Si los trabajos se ordenan en secuencia, colocando en primer lugar al que tenga la razón crítica más baja, se observa que la secuencia de los trabajos que deberán procesarse en el torno es de 4, 2, 3 y, finalmente, 1, suponiendo que no lleguen más trabajos durante el proceso.

b. Aplicando la regla S/RO, se divide la diferencia entre el tiempo que falta para la fecha de vencimiento y el tiempo restante en la planta de producción entre el número de operaciones restantes. Para el trabajo 1, se tiene que:

$$\text{S/RO} = \frac{\text{Tiempo que falta para la fecha de vencimiento} - \text{Tiempo restante en la planta de producción}}{\text{Número de operaciones restantes}} = \frac{15 - 6.1}{10} = 0.89$$

Si los trabajos se ordenan empezando con los que tienen valores S/RO más bajos, se obtiene la secuencia de trabajos 4, 3, 1, 2.

Punto de decisión Observe que la aplicación de las dos reglas de prioridad resulta en dos programas diferentes. Más aún, la secuencia SPT, basada en los tiempos de operación (medido en horas) solamente en el torno para roscar, es 1, 3, 2 y 4. No se le da preferencia al trabajo 4 en el programa SPT, aun cuando es posible que no se haya terminado en la fecha de vencimiento. La secuencia FCFS es 1, 2, 3 y 4; y la secuencia EDD es 4, 2, 1 y 3. La tabla siguiente muestra el desempeño comparativo de las cinco reglas de despacho en el torno de engranaje para roscar.

Resumen de las reglas de prioridad

	FCFS	SPT	EDD	CR	S/RO
Tiempo promedio de flujo	17.175	16.100	26.175	27.150	24.025
Tiempo promedio de adelanto	3.425	6.050	0	0	0
Tiempo promedio de retraso	7.350	8.900	12.925	13.900	10.775
WIP promedio	1.986	1.861	3.026	3.139	2.777
Inventario total promedio	2.382	2.561	3.026	3.139	2.777

La regla S/RO resulta mejor que la regla EDD y la regla CR, pero mucho peor que la regla SPT y la regla FCFS, en el caso presentado en este ejemplo. Sin embargo, la S/RO tiene la ventaja de permitir cambios en el programa cuando se modifican las fechas de vencimiento. Estos resultados no se pueden generalizar a otras situaciones porque sólo se están procesando cuatro trabajos.

En estudios de investigación se ha demostrado que la S/RO es mejor que la EDD con respecto al porcentaje de trabajos retrasados, pero peor que la SPT y la EDD con respecto a los tiempos promedio de flujo del trabajo. Estos estudios también indican que la CR produce tiempos de flujo del trabajo más largos que la SPT, pero que también genera menos varianza en la distribución de

las horas de retraso. En consecuencia, a pesar de que el uso de las reglas para múltiples dimensiones requiere más información, no existe una opción que sea claramente la mejor. Será necesario ensayar con cada regla en el ambiente en el que se intenta aplicarlas.

PROGRAMACIÓN DE TRABAJOS EN MÚLTIPLES ESTACIONES DE TRABAJO

Las reglas para establecer la secuencia de prioridades pueden usarse para programar más de una operación con el procedimiento de despacho. Cada operación se considera en forma independiente. Cuando una estación de trabajo se queda ociosa, la regla de prioridad se aplica a los trabajos que están en espera de esa operación, y se selecciona el que tenga la más alta prioridad. Cuando esa operación concluye, el trabajo pasa a la siguiente operación incluida en su ruta, donde se queda en espera hasta que nuevamente le corresponda la prioridad más alta. En cualquiera de las estaciones de trabajo, los trabajos que se encuentran en la fila de espera cambian al cabo de cierto periodo, por lo cual la selección de una regla de prioridad suele dar lugar a grandes diferencias en la secuencia de procesamiento. Los programas se evalúan con las medidas de desempeño que se explicaron con anterioridad.

La identificación de la mejor regla de prioridad que puede usarse en una operación en particular dentro de un proceso es un problema complejo porque el producto de una operación se convierte en el insumo de otra. La regla de prioridad en la estación de trabajo determina la secuencia de trabajo que se seguirá en la estación, la cual determina a su vez la llegada de trabajo a la siguiente estación. Los modelos de *simulación* por computadora son herramientas eficaces para determinar las reglas de prioridad que funcionan mejor en una determinada situación. Una vez que se modela el proceso, el analista puede efectuar cambios en las reglas de prioridad en las diferentes operaciones y medir el impacto en las medidas de desempeño, como retrasos, trabajo en proceso, tiempo de flujo del trabajo y utilización. El ejemplo 16.4 demuestra la simulación usando Extend, un paquete de software avanzado para simulación. SimQuick, que se incluye en el CD-ROM del estudiante que se entrega con cada ejemplar nuevo de este libro de texto, también es útil.

EJEMPLO 16.4 Simulación de las operaciones de Precision AutoBody

Precision AutoBody goza de excelente reputación en el mercado local por la alta calidad de sus trabajos de reparación de carrocerías de automóviles. La reparación de la carrocería de un vehículo consiste en dos pasos generales: la reparación propiamente dicha y el acabado. Para la reparación de la carrocería, se clasifica a los vehículos según los daños que presentan, ya sea menores o mayores. Los que tienen daños menores requieren, en promedio, una jornada de 8 horas, para quedar terminados. Dos terceras partes de los vehículos que recibe Precision pertenecen a esta categoría. En contraste, los vehículos que tienen daños mayores requieren reparaciones más extensas que van más allá de la lámina metálica superficial, y los daños a menudo incluyen problemas ocultos que no son evidentes cuando se realiza la primera inspección. Como resultado, este trabajo de reparación tarda en promedio 2 días. De los vehículos que presentan daños mayores, en aproximadamente la mitad se necesita enderezar el chasis con un equipo hidráulico especial, en un área dedicada a esta operación que se encuentra al lado de las bahías de reparación. Esta operación extra tiende a sumar, en promedio, un día más al tiempo de terminación.

Después de reparar la carrocería, el vehículo se traslada al área de acabado. Un pequeño porcentaje de vehículos, 25% de los que tienen daños menores, pasan directamente al área de acabado. Ahí, un aprendiz prepara el vehículo, lo lija y cubre las áreas que no se van a pintar. A continuación, se traslada al vehículo a una de varias cabinas de pintura, donde el pintor mezcla el color de la pintura para igualarlo con el del vehículo, tomando en cuenta la decoloración que éste ha sufrido con el tiempo. Prácticamente todos los vehículos requieren dos capas: una capa de base de color seguida por una capa transparente que se aplica al día siguiente. Después de terminar, el exterior y el interior del vehículo se limpian muy bien para dar la impresión de "nuevo" al cliente cuando se entregue el vehículo. Los tiempos para completar cada operación se resumen en la tabla siguiente:

Tiempos del proceso de Precision AutoBody

	Tiempo para realizar la operación	
Operación	**Promedio (h)**	**Desviación estándar**
1. Enderezar el chasis*	8	2
2a. Reparación de carrocería, daños mayores*	16	4
2b. Reparación de carrocería, daños menores*	8	2
3. Preparación de pintura	1 1/4	1/3
4. Aplicación de pintura (dos capas)	1 1/2	1/2
5. Limpieza	3	1/2

*No todos los vehículos lo necesitan

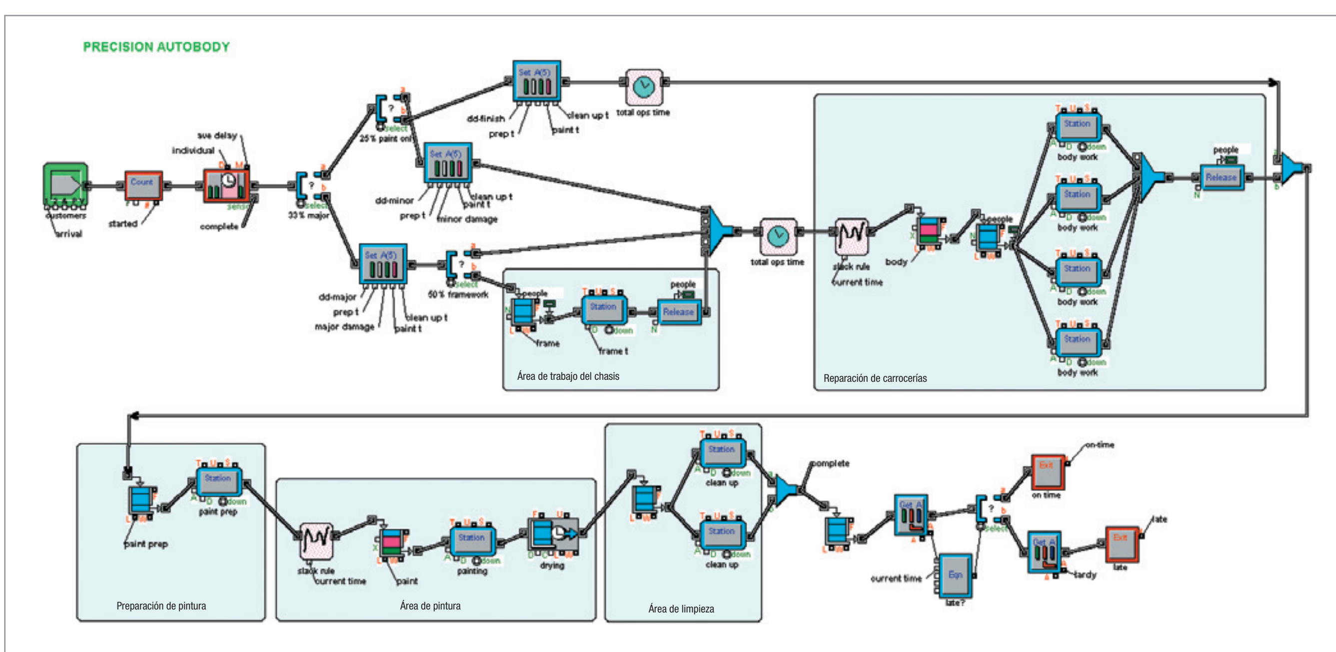


FIGURA 16.4 | Operaciones de Precision AutoBody, usando el software Extend

Bill Curtis, gerente de Precision, programa cada vehículo en las operaciones de reparación y pintura de carrocerías por riguroso orden de llegada, con un tiempo de entrega previsto de aproximadamente 1 semana (esto es, 5 días hábiles), además del tiempo de espera necesario para la entrega de partes. La revisión de los datos del mes pasado indicó que 18.17% de los trabajos se entregaban con retraso y que la tasa de producción promedio con respecto al tiempo (tiempo de flujo) por automóvil era de 30.49 horas. Además, el número promedio de vehículos en el sistema (trabajo en proceso) era de 9.6 automóviles. Curtis necesita saber si la aplicación de la regla SPT a las operaciones de reparación y pintura mejoraría el desempeño en la entrega y reduciría los tiempos de flujo y el trabajo en proceso.

SOLUCIÓN

Se ha utilizado el software Extend para modelar y simular las operaciones de Precision AutoBody. La figura 16.4 muestra el modelo de simulación. Las cinco operaciones aparecen encuadradas en el diagrama. A medida que la simulación continúa, llegan vehículos que requieren reparaciones mayores con una probabilidad de 33%. Si se necesita una reparación mayor, hay 50% de probabilidades de que el vehículo necesite pasar por la operación de enderezamiento del chasis antes de llegar a la operación de reparación de carrocería. Si se necesita una reparación menor, hay 25% de probabilidades de que el vehículo pase directamente a la operación de preparación de pintura. Después de la reparación de la carrocería, todos los vehículos pasan por la preparación de pintura, pintura y limpieza. Las actividades después de la limpieza se necesitan para recopilar los datos estadísticos de cada vehículo antes de que salga de la simulación. La regla de prioridad SPT para cada operación se seleccionó en el cuadro Controles (no se muestra).

Los resultados de simulación usando la regla SPT para la operación de reparación de carrocería y las operaciones de acabado (preparación de pintura, pintura y limpieza) se muestran en la figura 16.5. Observe que el porcentaje de entregas retrasadas, el número promedio de vehículos en el sistema y la tasa de producción promedio con respecto al tiempo han mejorado con el uso de la regla SPT. La estadística de promedio de impuntualidad, que se indica en la figura 16.5, es otra forma de la medida de desempeño retraso. Se trata del número promedio de horas después de la fecha de entrega con que esos vehículos se entregaron tarde.

Punto de decisión Los resultados muestran que la regla de prioridad SPT es superior a la regla FCFS en el caso de Precision AutoBody. Curtis debe pensar en la posibilidad de cambiar la regla de prioridad. Podrían lograrse otras mejoras en el porcentaje de entregas retrasadas si se incrementa el tiempo de espera al establecer las fechas de entrega o si se cambian las reglas de prioridad. El modelo de simulación puede ayudar a determinar la mejor solución.

Fuente: El profesor Robert Klassen, University of Western Ontario, proporcionó este caso y experiencia de simulación.

Desempeño en la entrega

Retraso (%)	17.35
Promedio de impuntualidad (h)	7.896

Desempeño del sistema

Número promedio de vehículos en el sistema	9.422
Tasa de producción total con respecto al tiempo (h)	
promedio	29.67
desviación estándar	10.92

Utilización de las operaciones

Reparación de carrocerías	0.8338
Operación de pintura	0.7687

FIGURA 16.5 Resultados de la regla SPT para las operaciones de reparación y acabado de carrocerías de Precision AutoBody

PROGRAMACIÓN DE TRABAJOS EN UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN CONTINUA CON DOS ESTACIONES

Suponga que en una planta de producción continua, varios trabajos están listos para ser procesados en dos estaciones de trabajo y que las rutas que seguirán todos esos trabajos son idénticas. A diferencia de la programación para una sola máquina, en la que el lapso de fabricación es el mismo

con cualquier regla de prioridad que se seleccione, en la programación de dos o más estaciones de trabajo en una planta de producción continua, el lapso de fabricación varía de acuerdo con la secuencia seleccionada. La determinación de una secuencia de producción para un grupo de trabajos que tiene como propósito minimizar el lapso de fabricación, tiene dos ventajas:

1. El grupo de trabajos se lleva a cabo en un mínimo de tiempo.
2. La utilización de la planta de producción continua con dos estaciones se maximiza. Por el hecho de utilizar continuamente la primera estación de trabajo hasta que termina el procesamiento del último trabajo, se minimiza el tiempo ocioso en la *segunda* estación de trabajo.

regla de Johnson

Procedimiento que minimiza el lapso de fabricación cuando se programa un grupo de trabajos en dos estaciones de trabajo.

La **regla de Johnson** es un procedimiento que minimiza el lapso de fabricación cuando se programa un grupo de trabajos en dos estaciones de trabajo. S. M. Johnson demostró que la secuencia de trabajos en las dos estaciones tiene que ser idéntica y que, por lo tanto, la prioridad asignada a un trabajo determinado debe ser la misma en ambas estaciones. El procedimiento se basa en la suposición de que existe un conjunto conocido de trabajos, cada uno de los cuales tiene un tiempo de procesamiento también conocido y está disponible para empezar a procesarse en la primera estación de trabajo. El procedimiento es el siguiente:

Paso 1. Repase los tiempos de procesamiento en cada estación de trabajo y localice el tiempo de procesamiento más corto entre todos los trabajos que aún no han sido programados. Si se produce un empate, seleccione arbitrariamente uno de los trabajos.

Paso 2. Si el tiempo de procesamiento más corto está en la estación de trabajo 1, programe el trabajo correspondiente lo antes posible. Si el tiempo de procesamiento más corto está en la estación de trabajo 2, programe el trabajo correspondiente lo más tarde posible.

Paso 3. Excluya el último trabajo programado de cualquier consideración posterior. Repita los pasos 1 y 2 hasta que todos los trabajos hayan sido programados.

EJEMPLO 16.5 Programación de un grupo de trabajos en dos estaciones

TUTOR 16.4

El tutor 16.4 en el CD-ROM del estudiante presenta otro ejemplo para practicar la aplicación de la regla de Johnson.

Morris Machine Company acaba de recibir un pedido para reconstruir cinco motores de equipo de manejo de materiales que se dañaron durante un incendio. Los motores se repararán en dos estaciones de trabajo, de acuerdo con el siguiente plan:

Estación de trabajo 1: Desarmar el motor y limpiar las partes.

Estación de trabajo 2: Cambiar las partes según se requiera, probar el motor y efectuar los ajustes necesarios.

Sabiendo que el taller del cliente no podrá funcionar mientras no sean reparados todos esos motores, el gerente de la planta de reparaciones desea formular un programa que minimice el lapso de fabricación y ha autorizado que las operaciones continúen día y noche hasta que todos los motores hayan sido reparados. El tiempo estimado para la reparación de cada motor se presenta en la siguiente tabla:

	Tiempo (h)	
Motor	**Estación de trabajo 1**	**Estación de trabajo 2**
M1	12	22
M2	4	5
M3	5	3
M4	15	16
M5	10	8

SOLUCIÓN

La lógica para encontrar la secuencia óptima se muestra en la siguiente tabla:

Establecimiento de la secuencia de trabajos		
Iteración	**Secuencia de trabajos**	**Comentarios**
1	M3	El tiempo de procesamiento más corto es de 3 horas y corresponde al motor M3 en la estación de trabajo 2. Por lo tanto, M3 se programará en la fecha más lejana posible.

(*continúa*)

Iteración	Secuencia de trabajos					Comentarios
2	M2				M3	Elimine de la tabla de tiempos estimados el tiempo correspondiente a M3. El siguiente tiempo de procesamiento más corto es de 4 horas y corresponde al motor M2 en la estación de trabajo 1. Por lo tanto, M2 deberá programarse primero.
3	M2			M5	M3	Elimine M2 de la tabla. El siguiente tiempo de procesamiento más corto es de 8 horas y corresponde a M5 en la estación de trabajo 2. Por lo tanto, M5 deberá programarse en la fecha más lejana posible.
4	M2	M1		M5	M3	Elimine M5 de la tabla. El siguiente tiempo de procesamiento más corto es de 12 horas y corresponde a M1 en la estación de trabajo 1, M1 deberá programarse lo más pronto posible.
5	M2	M1	M4	M5	M3	El último motor que falta programar es M4. Deberá colocarse en la última posición restante, a la mitad del programa.

Punto de decisión Con ninguna otra secuencia de trabajos es posible obtener un lapso de fabricación menor. Para determinar el lapso de fabricación, es necesario trazar un gráfico de Gantt, como muestra la figura 16.6. En este caso, el trabajo completo de reconstruir y reinstalar los cinco motores requerirá 65 horas. Este programa minimiza el tiempo ocioso de la estación de trabajo 2 y permite el tiempo de reparación más corto para los cinco motores. Observe que en el programa se reconoce que ningún trabajo podrá comenzar en la estación de trabajo 2 mientras éste no se haya concluido en la estación de trabajo 1.

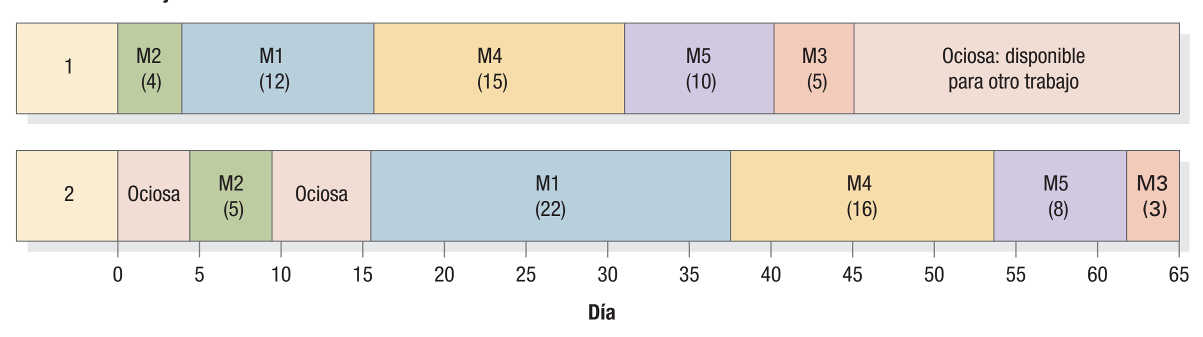


FIGURA 16.6 | Gráfico de Gantt para el programa de reparaciones de Morris Machine Company

AMBIENTES CON MANO DE OBRA LIMITADA

Hasta aquí se ha supuesto que un trabajo nunca tendrá que esperar por falta de trabajadores. El recurso limitado ha sido siempre el número de máquinas o estaciones de trabajo disponibles. Sin embargo, el caso más típico es el de un **ambiente con mano de obra limitada** en el cual la restricción de recursos es la cantidad de mano de obra disponible, no el número de máquinas o estaciones de trabajo. En este caso, los trabajadores reciben capacitación para trabajar en varias máquinas o tareas a fin de incrementar la flexibilidad de las operaciones.

ambiente con mano de obra limitada
Ambiente en el cual la restricción de recursos es la cantidad de mano de obra disponible, no el número de máquinas o estaciones de trabajo.

En un ambiente con mano de obra limitada, el programador no sólo necesita decidir qué trabajo convendrá procesar a continuación en una estación de trabajo determinada, sino también debe asignar a los trabajadores a sus siguientes estaciones de trabajo. El programador puede aplicar reglas de prioridad para tomar esas decisiones, como las que se usaron para programar los bloques de motor en el ejemplo 16.2. En ambientes con mano de obra limitada, las políticas de asignación de la mano de obra influyen en el desempeño tanto como las reglas de prioridad de despacho. A continuación se presentan algunos ejemplos de las reglas que se usan para la asignación de mano de obra.

- Asignar personal a la estación de trabajo donde se encuentre el trabajo que haya permanecido más tiempo en el sistema.
- Asignar personal a la estación de trabajo en la que haya más trabajos en espera de ser procesados.
- Asignar personal a la estación de trabajo donde el contenido de trabajo estándar sea mayor.
- Asignar personal a la estación de trabajo con el trabajo que tenga la fecha de entrega más próxima.

VINCULACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES CON LA CADENA DE SUMINISTRO

sistemas avanzados de planificación y programación (APS)
Sistemas que tratan de optimizar los recursos en toda la cadena de suministro y alinear las operaciones diarias con las metas estratégicas.

En el capítulo 10, "Estrategia de cadena de suministro", se habló de cómo las empresas diseñan y administran los vínculos entre clientes y proveedores con la aplicación del concepto de una cadena de suministro integrada. La verdadera integración requiere la manipulación en tiempo real de grandes cantidades de datos complejos porque el flujo de trabajo de los pedidos de los clientes debe estar sincronizado con el material requerido, el proceso de manufactura y la actividad de distribución. Para tratar de lograr esta integración con sistemas fragmentados se requieren muchos recursos y, a la larga, los resultados son menos satisfactorios. Internet, el nuevo software de computadora y los métodos mejorados de almacenamiento y manipulación de datos han dado origen a los **sistemas avanzados de planificación y programación (APS)** (del inglés *advanced planning and scheduling systems*), que tratan de optimizar los recursos en toda la cadena de suministro y alinear las operaciones diarias con las metas estratégicas. Típicamente, estos sistemas tienen cuatro componentes principales.

1. *Planificación de la demanda.* Esta capacidad permite a las compañías que intervienen en una cadena de suministro compartir pronósticos de la demanda, proporcionando así más visibilidad de los requerimientos futuros. Incluye una amplia variedad de técnicas de pronóstico.
2. *Planificación de la red de suministro.* Los modelos de optimización basados en la programación lineal se pueden usar para tomar decisiones a largo plazo, como el número y la localización de las plantas y centros de distribución que debe tener la empresa, los proveedores que debe usar y la cantidad de inventario que debe tener disponible y dónde debe estar localizado.
3. *Disponible para promesa.* Las empresas pueden usar esta capacidad para prometer la entrega a los clientes, después de comprobar la disponibilidad de los componentes y materiales con sus respectivos proveedores, que pueden estar localizados en cualquier parte del mundo (véase el capítulo 15, "Planificación de recursos"). Entre las variantes de esta capacidad figuran: *capacidad para promesa,* para proveedores que producen artículos por pedido de los clientes y tienen capacidad de reserva; y *capacidad para entregar,* para proveedores de servicios de transporte.
4. *Programación de manufactura.* Esto módulo intenta determinar la agrupación y secuencia óptimas de las órdenes de manufactura con base en atributos detallados de los productos, capacidades de la línea de producción y flujos de materiales. En algunas aplicaciones, los programas de materiales, mano de obra y equipo pueden determinarse minuto a minuto. Se pueden usar gráficos de Gantt para ver el programa y realizar ajustes (figuras 16.1 y 16.2). Los programas se basan en "restricciones" y usan la *teoría de restricciones* para definir la programación, que gira alrededor de los cuellos de botella en el proceso de manufactura.

El proceso de programación de manufactura es uno de los elementos esenciales de una cadena de suministro integrada. Los sistemas APS intentan vincular el proceso de programación a los datos y pronósticos de la demanda, las decisiones sobre las instalaciones e inventarios de la cadena de suministro y la capacidad de los proveedores con el propósito de que la cadena entera pueda operar de la manera más eficiente posible. La capacidad de una empresa para cambiar sus programas con rapidez, sin afectar el flujo de la cadena de suministro proporciona ventaja competitiva. La práctica administrativa 16.2 demuestra la complejidad de la programación en una planta armadora de automóviles.

> CD-ROM DEL ESTUDIANTE Y RECURSOS DE INTERNET (EN INGLÉS) <

El CD-ROM del estudiante y el sitio Web complementario en **www.pearsoneducacion.net/krajewski** contienen muchas herramientas, actividades y recursos diseñados para este capítulo.

> ECUACIONES CLAVE <

1. Medidas de desempeño:

$$\text{Tiempo de flujo del trabajo} = \text{Tiempo de terminación} - \text{Tiempo en que el trabajo estuvo disponible para la primera operación de procesamiento.}$$

$$\text{Lapso de fabricación} = \text{Tiempo de terminación del último trabajo} - \text{Tiempo de inicio del primer trabajo}$$

$$\text{Inventario promedio de WIP} = \frac{\text{Suma de tiempos de flujo}}{\text{Lapso de fabricación}}$$

$$\text{Inventario total promedio} = \frac{\text{Suma del tiempo en el sistema}}{\text{Lapso de fabricación}}$$

$$\text{Inventario total} = \text{Recepciones programadas de todos los elementos} + \text{Inventarios disponibles de todos los elementos}$$

PRÁCTICA ADMINISTRATIVA 16.2 SECUENCIA DE AUTOMÓVILES EN LA PLANTA DE NISSAN EN SUNDERLAND

La manera típica de fabricar un nuevo modelo de automóvil es construir una nueva planta o agregar otra línea de ensamblaje a una planta existente. Sin embargo, cuando Nissan decidió lanzar el modelo Almera en el mercado europeo, su método fue todo, menos típico. Por principio de cuentas, la fabricación de los nuevos modelos en una planta situada en el mercado donde se van a vender reduce los costos de transporte y elimina los de construcción de una nueva planta. Así pues, no es de sorprender que Nissan haya decidido construir el Almera en su planta de Sunderland, localizada en la campiña inglesa, cerca de Newcastle. Hace mucho tiempo que se reconoce que Sunderland es la fábrica de automóviles más productiva de Europa. Tiene una razón de 94 automóviles fabricados por trabajador de la línea de ensamblaje anualmente, lo que representa una tasa de productividad sobresaliente. ¿Por qué no usar entonces la planta de Sunderland para el Almera?

La gerencia tenía dos opciones: la primera consistía en construir una línea de ensamblaje exclusiva para el Almera, lo que tardaría un año y costaría varios cientos de millones de dólares. La construcción amenazaría la productividad de la planta en lo que tocaba a la producción de los modelos Micra y Primera, que ya se fabricaban en la planta. La segunda opción era producir el Almera en las líneas de ensamblaje existentes en la planta. Esa opción suscitó preocupación por la programación. Sunderland producía los modelos Micra y Primera en dos líneas de ensamblaje dedicadas. La línea de ensamblaje típica estaba formada por tres talleres: el taller de carrocería donde se ensamblaba el chasis inicial; el taller de pintura, que contaba con dos bahías para aplicar pintura pulverizada; y el taller de acabado, donde se agregaban todos los detalles al chasis pintado. Entre los talleres existía un área divisoria donde los automóviles esperaban el siguiente paso. La programación de una planta armadora de automóviles es compleja debido a las numerosas restricciones que tienen que tomarse en cuenta. Por ejemplo, las bahías de pintura consumen mucho tiempo y plantean restricciones ambientales relacionadas con la necesidad de agrupar todos los automóviles del mismo color. Además, los requerimientos especiales de los modelos, como los techos corredizos, no pueden programarse uno tras otro, porque eso retrasaría a toda la línea en el punto de la instalación del techo corredizo. La adición de un nuevo modelo a las líneas existentes amenazaría la eficiencia de la planta.

La dirección de Nissan eligió la segunda opción. Para lograr esta hazaña, el método de programación tendría que cambiar. Antes de la introducción del Almera, se programaban las líneas con base en las restricciones que tenía cada taller en un día cualquiera; la gerencia resolvería los conflictos en una sala de control donde se implementaría una solución ad hoc. Para incluir al Almera en la mezcla, el método de programación se modificó para programar los tres talleres de cada línea en un solo flujo coordinado. Un paquete de software complejo, llamado ILOG Solver, desarrollado por ILOG, Inc., se utilizó para reconocer las más de 2,500 posibles restricciones. El nuevo sistema de manufactura asignó el Almera y el Primera a sus propias líneas y el Micra (el automóvil de fabricación más sencilla) a ambas líneas, con múltiples puntos de entrecruzamiento en el proceso de ensamblaje. El nuevo método de programación fue un éxito. La capacidad aumentó 30% con poca inversión de capital adicional.



Incluso en las más eficientes plantas armadoras de automóviles la programación es compleja debido a las numerosas restricciones que tienen que tomarse en consideración. En particular la parte del trabajo que corresponde a la pintura consume mucho tiempo, pero es sólo una de las miles de tareas que deben programarse de forma eficiente en la planta.

La planta de Sunderland sigue siendo la estrella más reluciente de Nissan en Europa. La planta producirá el nuevo vehículo *crossover* de Nissan (en parte para transportar pasajeros, en parte *hatchback*), además de los modelos que se producen ahí actualmente, lo que elevará el volumen total de la planta a alrededor de 400,000 automóviles por año. Aun cuando este nuevo modelo planteará otros retos, en vista del historial de Sunderland en la programación de varios vehículos a la vez, ¿quién pondría en duda que volverá a alcanzar el éxito?

Fuentes: Denis Sennechael, and Iain MacLean, "Car-Sequencing Challenge at a Nissan Plant Calls for Complex Scheduling", *APICS—The Performance Challenge,* marzo de 2001), pp. 39–40; "Nissan in Europe", *Automotive Intelligence News,* www.autointell.com/asian_companies/nissan/nissan_europe.htm 2000; "Nissan Announces New Model for Sunderland Plant", *Automotive Intelligence News,* www.autointell-news.com/News-2005/Feb-2005/Feb-2005-1/ Feb-02-05-p3.htm, 2 de febrero de 2005.

$$\text{Inventario total} = \text{Recepciones programadas de todos los elementos} + \text{Inventarios disponibles de todos los elementos}$$

2. Razón crítica: $$CR = \frac{\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}}{\text{Tiempo total restante en la planta}}$$

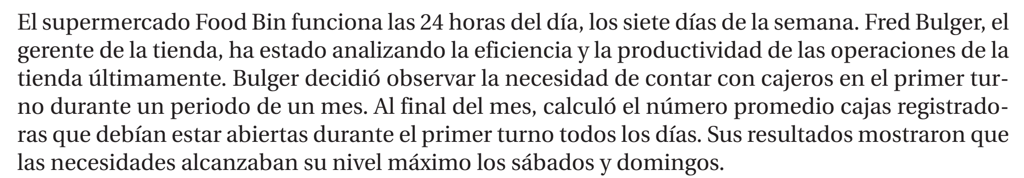
3. Holgura por operaciones restantes:

$$S/RO = \frac{(\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}) - \text{Tiempo total restante en la planta}}{\text{Número de operaciones restantes}}$$

TÉRMINOS CLAVE

a quien llega primero, se le atiende primero (FCFS) 681
ambiente con mano de obra limitada 689
despacho 681
fecha de vencimiento más próxima (EDD) 681
holgura por operaciones restantes (S/RO) 681
impuntualidad 674
inventario de trabajo en proceso (WIP) 674
inventario total 674
lapso de fabricación 673
planta de producción continua 680
planta de producción intermitente 680
programa de rotación 677
programa fijo 677
programación 672
programación de la demanda 672
programación de la fuerza de trabajo 672
programación de operaciones 672
razón crítica (CR) 681
regla de Johnson 688
reglas para la secuencia de prioridades 681
reglas para múltiples dimensiones 684
reglas para una sola dimensión 682
retraso 674
sistemas avanzados de planificación y programación (APS) 690
tiempo de flujo del trabajo 673
tiempo de procesamiento más corto (SPT) 681

PROBLEMA RESUELTO 1



El supermercado Food Bin funciona las 24 horas del día, los siete días de la semana. Fred Bulger, el gerente de la tienda, ha estado analizando la eficiencia y la productividad de las operaciones de la tienda últimamente. Bulger decidió observar la necesidad de contar con cajeros en el primer turno durante un periodo de un mes. Al final del mes, calculó el número promedio cajas registradoras que debían estar abiertas durante el primer turno todos los días. Sus resultados mostraron que las necesidades alcanzaban su nivel máximo los sábados y domingos.

Día	**L**	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
Número de cajeros requeridos	3	4	5	5	4	7	8

Bulger tiene que elaborar ahora un programa de la fuerza de trabajo que garantice dos días de descanso para cada cajero, pero que cubra todos los requerimientos.

a. Elabore un programa para la fuerza de trabajo que cubra todas las necesidades y prevea dos días consecutivos de descanso para cada empleado. ¿Cuántos cajeros se necesitan? Suponga que los cajeros no tienen preferencia alguna en cuanto a los días de la semana que van a tener libres.

b. Se pueden hacer planes para asignar a los cajeros otras labores si es posible determinar la holgura o el tiempo ocioso resultante de este programa. ¿Cuánto tiempo ocioso resultará de este programa y en qué días?

SOLUCIÓN

a. Se sigue el método demostrado en el ejemplo 16.1 para determinar el número de cajeros que se necesita.

	Día						
	L	M	M	J	V	S	D
Requerimientos	3	4	5	5	4	7	8*
Cajero 1	libre	libre	X	X	X	X	X
Requerimientos	3	4	4	4	3	6	7*
Cajero 2	libre	libre	X	X	X	X	X
Requerimientos	3	4	3	3	2	5	6*
Cajero 3	X	X	X	libre	libre	X	X
Requerimientos	2	3	2	3	2	4	5*
Cajero 4	X	X	X	libre	libre	X	X
Requerimientos	1	2	1	3	2	3	4*
Cajero 5	X	libre	libre	X	X	X	X

(*continúa*)

	Día						
	L	M	M	J	V	S	D
Requerimientos	0	2	1	2	1	2	3*
Cajero 6	libre	libre	X	X	X	X	X
Requerimientos	0	2*	0	1	0	1	2*
Cajero 7	X	X	libre	libre	X	X	X
Requerimientos	0	1*	0	1*	0	0	1*
Cajero 8	X	X	X	X	libre	libre	X
Requerimientos	0	0	0	0	0	0	0

* Requerimientos máximos

El número mínimo de cajeros es ocho.

b. Con base en los resultados de la parte (a), el número de cajeros en servicio menos los requerimientos es el número de cajeros desocupados que estarán disponibles para otras labores:

	Día						
	L	M	M	J	V	S	D
Número en servicio	5	4	6	5	5	7	8
Requerimientos	3	4	5	5	4	7	8
Cajeros ociosos	2	0	1	0	1	0	0

La holgura en este programa indicaría a Bulger el número de empleados a los que podría pedir que trabajaran tiempo parcial (menos de 5 días por semana). Por ejemplo, el cajero 7 podría trabajar los martes, sábados y domingos, y el cajero 8 podría trabajar los martes, jueves y domingos. Así se eliminaría la holgura del programa.

> PROBLEMA RESUELTO 2 <

Neptune's Den Machine Shop se especializa en el reacondicionamiento de motores náuticos fuera de borda. Algunos sólo requieren la sustitución de partes rotas, pero otros necesitan una renovación completa. Actualmente, hay cinco motores están en espera de servicio, con diversas averías. Las estimaciones más aproximadas de los tiempos de mano de obra y las fechas de entrega prometidas a los clientes (el número de días para la entrega a partir de hoy) se presentan en la siguiente tabla. Por lo general, los clientes no recogen sus motores antes de la fecha convenida.

Motor	Tiempo estimado de mano de obra (días)	Fecha de entrega prometida (días a partir de hoy)
Evinrude de 50 hp	5	8
Johnson de 7 hp	4	15
Mercury de 100 hp	10	12
Sportsman de 4 hp	1	20
Nautique de 75 hp	3	10

a. Prepare programas por separado, aplicando las reglas SPT y EDD. Compare los dos programas con base en el tiempo promedio de flujo del trabajo, el porcentaje de trabajos retrasados y el número máximo de días de retraso que corresponda a cada motor.

b. Para cada programa, calcule el inventario promedio de trabajo en proceso (en motores) y el inventario promedio total (en motores).

SOLUCIÓN

a. Aplicando la regla SPT, se obtiene el siguiente programa:

Secuencia de reparación	Tiempo de procesamiento	Tiempo de flujo del trabajo	Fecha prometida	Fecha de entrega real	Días de anticipación	Días de retraso
Sportsman de 4 hp	1	1	20	20	19	—
Nautique de 75 hp	3	4	10	10	6	—
Johnson de 7 hp	4	8	15	15	7	—
Evinrude de 50 hp	5	13	8	13	—	5
Mercury de 100 hp	10	23	12	23	—	11
	Total	49		81		

Al aplicar la regla de EDD, se obtiene el siguiente programa:

Secuencia de reparación	Tiempo de procesamiento	Tiempo de flujo del trabajo	Fecha prometida	Fecha de entrega real	Días de anticipación	Días de retraso
Evinrude de 50 hp	5	5	8	8	3	—
Nautique de 75 hp	3	8	10	10	2	—
Mercury de 100 hp	10	18	12	18	—	6
Johnson de 7 hp	4	22	15	22	—	7
Sportsman de 4 hp	1	23	20	23	—	3
	Total	76		81		

El tiempo promedio de flujo del trabajo es de 9.8 (o sea, 49/5) días aplicando la regla SPT y de 15.2 (o sea, 76/5) días con la regla EDD. El porcentaje de trabajos retrasados es de 40% (2/5) con la regla SPT y de 60% (3/5) con la EDD. El programa EDD minimiza el máximo de días de retraso, pero produce un tiempo de flujo del trabajo más largo y que un número mayor de trabajos se retrasen.

b. En el caso de la regla SPT, los inventarios promedio son los siguientes:

$$\text{Inventario promedio de WIP} = \frac{\text{Suma de tiempos de flujo}}{\text{Lapso de fabricación}} = \frac{49}{23} = 2.13 \text{ motores}$$

$$\text{Inventario total promedio} = \frac{\text{Suma del tiempo en el sistema}}{\text{Lapso de fabricación}} = \frac{81}{23} = 3.52 \text{ motores}$$

En el caso de la regla EDD, los promedios son:

$$\text{Inventario promedio de WIP} = \frac{\text{Suma de tiempos de flujo}}{\text{Lapso de fabricación}} = \frac{76}{23} = 3.30 \text{ motores}$$

$$\text{Inventario total promedio} = \frac{\text{Suma del tiempo en el sistema}}{\text{Lapso de fabricación}} = \frac{81}{23} = 3.52 \text{ motores}$$

> PROBLEMA RESUELTO 3 <

Los siguientes datos fueron consignados por el sistema de control del taller de producción, para el procesamiento de pedidos en la máquina afiladora. La fecha actual corresponde al día 150. El número de operaciones restantes y el total del trabajo por realizar incluyen las operaciones en la máquina afiladora. Todos los pedidos están disponibles para el procesamiento y ninguno se ha iniciado todavía.

Pedido actual	Tiempo de procesamiento (h)	Fecha de vencimiento (día)	Operaciones restantes	Tiempo restante en el taller (días)
A101	10	162	10	9
B272	7	158	9	6
C105	15	152	1	1
D707	4	170	8	18
E555	8	154	5	8

a. Especifique las prioridades para cada trabajo si el sistema de control del taller de producción emplea la holgura por operaciones restantes (S/RO) o la razón crítica (CR).

b. Para cada regla de prioridad, calcule el tiempo promedio de flujo del trabajo por cada uno de los trabajos en la máquina afiladora.

SOLUCIÓN

a. Se especifican las prioridades para cada uno de los trabajos, aplicando las dos reglas de despacho.

$$S/RO = \frac{(\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}) - \text{Tiempo restante en el taller}}{\text{Número de operaciones restantes}}$$

$$\text{E555: } S/RO = \frac{(154-150)-8}{5} = -0.80 \quad [1]$$

$$\text{B272: } S/RO = \frac{(158-150)-6}{9} = 0.22 \quad [2]$$

$$\text{D707: } S/RO = \frac{(170-150)-18}{8} = 0.25 \quad [3]$$

$$\text{A101: } S/RO = \frac{(162-150)-9}{10} = 0.30 \quad [4]$$

$$\text{C105: } S/RO = \frac{(152-150)-1}{1} = 1.00 \quad [5]$$

La secuencia de producción para la regla S/RO se presenta arriba, entre corchetes.

$$CR = \frac{\text{Fecha de vencimiento} - \text{Fecha de hoy}}{\text{Tiempo restante en el taller}}$$

$$\text{E555: } CR = \frac{154-150}{8} = 0.50 \quad [1]$$

$$\text{D707: } CR = \frac{170-150}{18} = 1.11 \quad [2]$$

$$\text{B272: } CR = \frac{158-150}{6} = 1.33 \quad [3]$$

$$\text{A101: } CR = \frac{162-150}{9} = 1.33 \quad [4]$$

$$\text{C105: } CR = \frac{152-150}{1} = 2.00 \quad [5]$$

La secuencia de producción para la regla CR se presenta arriba, entre corchetes.

b. Se desea obtener el tiempo de flujo de un conjunto de trabajos realizados en una sola máquina, de manera que el tiempo de flujo de cada uno de ellos es igual al tiempo de flujo del trabajo inmediatamente anterior en la secuencia más su propio tiempo de procesamiento. En consecuencia, los tiempos de flujo promedio son:

$$S/RO: \frac{8+15+19+29+44}{5} = 23.0 \text{ horas}$$

$$CR: \frac{8+12+19+29+44}{5} = 22.4 \text{ horas}$$

En este ejemplo, el tiempo promedio de flujo por trabajo es menor que con la regla de la razón crítica, pero no siempre sucede así. Por ejemplo, las razones críticas de B272 y A101 están empatadas con un valor de 1.33. Si arbitrariamente se asignara A101 antes que B272, el tiempo promedio de flujo aumentaría a (8 + 12 + 22 + 29 + 44)/5 = 23.0 horas.

> PROBLEMA RESUELTO 4 <

Se afirma que el terreno que ocupaba el Arsenal Rocky Mountain, que anteriormente fue un centro de fabricación de armas químicas, es uno de los lugares más contaminados de Estados Unidos. La limpieza de esas cuencas de almacenamiento de residuos químicos incluirá dos operaciones:

Operación 1: Drenaje y dragado de la cuenca.

Operación 2: Incineración de los materiales.

La gerencia calcula que cada operación requerirá las siguientes cantidades de tiempo (en días):

	Cuenca de almacenamiento									
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**
Dragado	3	4	3	6	1	3	2	1	8	4
Incineración	1	4	2	1	2	6	4	1	2	8

El objetivo de la dirección es minimizar el lapso de fabricación de las operaciones de limpieza. En primer término, encuentre un programa que minimice el lapso de fabricación. Después, calcule el tiempo promedio de flujo del trabajo de una cuenca de almacenamiento para la realización de las dos operaciones. ¿Cuál es el tiempo total transcurrido para la limpieza de las 10 cuencas? Represente el programa en un gráfico de Gantt para máquinas.

SOLUCIÓN

La regla de Johnson se aplica para encontrar el programa que minimiza el lapso de fabricación total. Cuatro trabajos están empatados, en términos del tiempo de procesamiento más corto: A, D, E y H. E y H están empatados en el primer lugar, en tanto que A y D están empatados en el último lugar. Arbitrariamente, se ha decidido comenzar con la cuenca E, la primera de la lista correspondiente a la operación de drenaje y dragado. Los diez pasos necesarios para llegar a definir una secuencia son los siguientes:

1. Seleccione primero la cuenca E (empatada con la cuenca H); colóquela al frente.	E	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Seleccione a continuación la cuenca H; colóquela hacia el frente.	E	H	—	—	—	—	—	—	—	—
3. Seleccione a continuación la cuenca A (empatada con la cuenca D); colóquela al final.	E	H	—	—	—	—	—	—	—	A
4. Coloque la cuenca D hacia el final.	E	H	—	—	—	—	—	—	D	A
5. Coloque la cuenca G hacia el frente.	E	H	G	—	—	—	—	—	D	A
6. Coloque la cuenca C hacia el final.	E	H	G	—	—	—	—	C	D	A
7. Coloque la cuenta I hacia el final	E	H	G	—	—	—	I	C	D	A
8. Coloque la cuenca F hacia el frente.	E	H	G	F	—	—	I	C	D	A
9. Coloque la cuenca B hacia el frente.	E	H	G	F	B	—	I	C	D	A
10. Coloque la cuenca J en el espacio restante	E	H	G	F	B	J	I	C	D	A

Existen varias soluciones óptimas para este problema por los empates que se produjeron al comienzo del procedimiento de programación. Sin embargo, todas ellas tienen el mismo lapso de fabricación. El programa resultante sería el siguiente:

	Operación 1		Operación 2	
Cuenca	Inicio	Fin	Inicio	Fin
E	0	1	1	3
H	1	2	3	4
G	2	4	4	8
F	4	7	8	14
B	7	11	14	18
J	11	15	18	26
I	15	23	26	28
C	23	26	28	30
D	26	32	32	33
A	32	35	35	36
			Total	200

El lapso de fabricación es de 36 días. El tiempo promedio de flujo del trabajo es la suma de los tiempos de terminación de la incineración divididos entre 10, o 200/10 = 20 días. El gráfico de Gantt para máquinas correspondiente a este programa se presenta en la figura 16.7.

Cuenca de almacenamiento

Dragado	E	H	G	F	B	J	I	C	D	A			
Incineración		E	H	G	F	B	J	I	C		D		A

FIGURA 16.7

> PREGUNTAS PARA DISCUSIÓN <

1. Suponga que es posible aplicar dos procedimientos diferentes para determinar los programas de las máquinas. Uno de ellos método de optimización que se puede ejecutar una vez por semana en la computadora. El otro consiste en un método de despacho, en el cual se emplean reglas de prioridad que permiten elaborar el programa a medida que éste se va desarrollando. Explique las ventajas y desventajas de cada método y las condiciones en que cada uno de ellos tiene más probabilidades de ser el mejor.
2. Explique por qué la gerencia se debe interesar en los sistemas de prioridad en las organizaciones manufactureras y de servicios.

> PROBLEMAS <

En cada copia nueva del libro de texto se incluye software, como OM Explorer, Modelos activos y POM para Windows. Pregunte a su profesor cómo usarlo mejor. En muchos casos, el profesor desea que los alumnos entiendan cómo hacer los cálculos a mano. Cuando mucho, el software le servirá para comprobar sus cálculos.

1. GeraLd Glynn administra el Centro de Distribución Michaels. Después de examinar cuidadosamente la información de su base de datos, ha determinado los requisitos diarios de personal de tiempo parcial en la plataforma de carga. El centro de distribución funciona los siete días de la semana, y los requisitos diarios de personal de tiempo parcial son los siguientes:

Día	**L**	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
Requisitos	6	3	5	3	7	2	3

Encuentre el número mínimo de trabajadores que Glynn necesita contratar. Prepare un programa de fuerza de trabajo para esos empleados, de manera que cada uno disponga de dos días libres consecutivos por semana y que todos los requisitos de personal se satisfagan. En caso de empate, conceda la preferencia a la pareja S-D.

2. Cara Ryder administra una escuela de esquí en un importante centro turístico y está tratando de preparar un programa para los instructores. Éstos reciben un salario bajo y trabajan

sólo lo suficiente para pagar sus gastos de hospedaje y alimentación. Tienen derecho de usar gratuitamente las instalaciones para esquiar y pasan la mayor parte de su tiempo libre deslizándose por las famosas pendientes en forma de diamante negro doble que ofrece ese lugar. Por lo tanto, los instructores trabajan únicamente cuatro días por semana. Uno de los paquetes de lecciones que ofrece el centro turístico es un plan de cuatro días para principiantes. A Ryder le agrada que el mismo instructor atienda al grupo durante todo el periodo de cuatro días, para lo cual asigna a los instructores un programa de cuatro días consecutivos de trabajo y luego tres días libres. Ryder formula los requisitos de instructores para el mes siguiente, basándose en años de experiencia con los pronósticos de demanda que le proporciona la alta dirección.

Día	**L**	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
Requisitos	7	5	4	5	6	9	8

a. Calcule cuántos instructores tendrá que contratar Ryder. Conceda la preferencia a la pareja sábado y domingo como días libres. (*Sugerencia:* busque el grupo de tres días que tenga los requisitos más bajos).
b. Especifique el programa de trabajo para cada empleado. ¿Cuánta holgura genera cada día el programa que ha propuesto?

3. El alcalde de Massillon, Ohio, en su deseo de proteger el medio ambiente, ha decidido implementar un plan de reciclamiento. Todos los habitantes de la ciudad recibirán un depósito especial con tres compartimentos para que separen su basura de vidrio, plástico y aluminio, y el municipio será responsable de recoger esos materiales. Un joven graduado en planificación urbana y regional, Michael Duffy, ha sido contratado para administrar el programa de reciclamiento. Después de estudiar cuidadosamente la densidad demográfica de la ciudad, Duffy ha concluido que se requerirán los siguientes números de empleados recolectores para el reciclamiento:

Día	**L**	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
Requisitos	12	7	9	9	5	3	6

Los requisitos se basan en la población de varios complejos habitacionales y subdivisiones de la ciudad y las comunidades circunvecinas. Para motivar a los habitantes de algunas zonas a apoyar la medida de programar la recolección de la basura durante los fines de semana se otorgará un descuento especial en los impuestos.

a. Encuentre el número mínimo de recolectores de materiales para reciclar que se necesitarán, si cada empleado trabaja cinco días a la semana y tiene dos días de descanso consecutivo. En caso de empate, conceda a la preferencia a la pareja S-D.
b. Especifique el programa de trabajo para cada empleado. ¿Cuánta holgura genera cada día el programa que usted ha propuesto?
c. Suponga que Duffy puede suavizar aún más los requisitos por medio de mayores incentivos tributarios. Entonces, los requisitos serían de ocho recolectores para los lunes y siete para los demás días de la semana. ¿Cuántos recolectores se necesitarán ahora? Encuentre la solución óptima en términos de la capacidad de holgura total mínima. ¿El suavizamiento de los requisitos tiene consecuencias sobre la inversión de capital? De ser así, ¿cuáles son esas consecuencias?

4. Hickory Company fabrica escritorios de madera. La gerencia programa tiempo extra todos los fines de semana para reducir la acumulación de pedidos de sus modelos más populares. Una máquina contorneadora automática se utiliza para cortar ciertos tipos de bordes de los escritorios. Es necesario programar el procesamiento de los siguientes pedidos en la maquina contorneadora:

Pedido	Tiempo de máquina estimado (h)	Fecha de vencimiento (h a partir de ahora)
1	10	12
2	3	8
3	15	18
4	9	20
5	7	21

Las fechas de vencimiento reflejan la necesidad de que el pedido se encuentre en la siguiente operación.

a. Prepare programas por separado, aplicando las reglas FCFS, SPT y EDD. A continuación, compare los programas en lo que respecta al tiempo promedio de flujo, el tiempo promedio de adelanto y el promedio de horas de retraso para cualquier pedido.
b. Para cada programa, calcule el inventario promedio de trabajo en proceso (en pedidos) y el inventario total promedio (también en pedidos).
c. Comente el desempeño de las dos reglas en relación con estas medidas.

5. La prensa fresadora representa una operación cuello de botella en un sistema de producción. Actualmente, hay cinco trabajos en espera de ser procesados. A continuación se presentan los datos disponibles acerca de las operaciones. Suponga que la fecha actual es la semana R y que el número de operaciones restantes y el tiempo restante en el taller de producción incluyen la operación en la prensa fresadora.

Trabajo	Tiempo de procesamiento	Fecha de vencimiento	Operaciones restantes	Tiempo restante en el taller (semanas)
AA	4	10	3	4
BB	8	16	4	6
CC	13	21	10	9
DD	6	23	3	12
EE	2	12	5	3

a. Especifique cual sería la prioridad de cada trabajo si el sistema de control del taller de producción decidiera aplicar cada una de las siguientes reglas de prioridad: SPT, S/RO, EDD y CR.
b. Para cada regla de prioridad, calcule el tiempo promedio de flujo por trabajo en la prensa fresadora.
c. ¿Cuál de estas reglas de prioridad daría mejor resultado para la planificación de prioridades con un sistema MRP? ¿Por qué?

TABLA 16.1 Datos de manufactura

Trabajo	Hora de envío	Tamaño del lote	Tiempo de procesamiento (h/unidad)	Tiempo de preparación (h)	Fecha de vencimiento
1	9:00 A.M. lunes	50	0.06	4	9:00 P.M. lunes
2	10:00 A.M. lunes	120	0.05	3	10:00 P.M. lunes
3	11:00 A.M. lunes	260	0.03	5	11:00 P.M. lunes
4	12:00 P.M. lunes	200	0.04	2	2:00 A.M. lunes

6. El taller de máquinas de Bycraft Enterprises funciona las 24 horas del día. En él se utiliza una máquina soldadora de control numérico (NC, del inglés *numerically* controlled). La carga de la máquina se monitorea y a los operarios soldadores no se les envía trabajo para más de 24 horas en un día. Los datos correspondientes a un conjunto de trabajos típico aparecen en la tabla 16.1. La gerencia ha investigado procedimientos de programación capaces de reducir el inventario y mejorar el servicio al cliente en el taller. Suponga que a las 8:00 A.M. del lunes, la máquina soldadora NC estaba ociosa.

- **a.** Prepare programas para las reglas de prioridad SPT y EDD, y dibuje el gráfico de Gantt para máquinas correspondiente a cada programa.
- **b.** Para cada programa de la parte (a), calcule el promedio de horas de retraso por trabajo y el tiempo promedio de flujo por trabajo. Tenga presente que los trabajos estarán disponibles para el procesamiento en diferentes tiempos.
- **c.** Comente sobre el desempeño de las dos reglas en términos de servicio al cliente e inventario. ¿Qué pros y contras deberá considerar la gerencia al seleccionar las reglas para programar la máquina soldadora en el futuro?

7. Remítase al gráfico de Gantt para máquinas que aparece en la figura 16.8.

- **a.** Suponga que un requisito de la ruta es que cada trabajo deberá procesarse primero en la máquina A. ¿Será posible mejorar el lapso de fabricación? En caso afirmativo, dibuje un gráfico de Gantt para ilustrar el programa mejorado. Si no es posible, explique por qué.
- **b.** Suponga que la secuencia de máquinas no tiene ninguna restricción en cuanto a la ruta, y que los trabajos pueden procesarse en cualquier secuencia en dichas máquinas. ¿Será posible mejorar en este caso el lapso de fabricación que aparece en el gráfico? En caso afirmativo, dibuje un gráfico de Gantt para ilustrar su programa. Si no es posible, explique por qué.

8. Un fabricante de velas para barcos pequeños tiene un grupo de velas personalizadas en espera de ser sometidas a las dos últimas operaciones de procesamiento, antes de enviarlas a los clientes. La operación 1 debe realizarse antes que la operación 2, y los trabajos tienen diferentes requisitos de tiempo para cada operación. Las horas requeridas son las siguientes:

	TRABAJO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operación 1	1	5	8	3	9	4	7	2	4	9
Operación 2	8	3	1	2	8	6	7	2	4	1

- **a.** Use la regla de Johnson para determinar la secuencia óptima.
- **b.** Dibuje un gráfico de Gantt para cada operación.

9. McGee Parts Company se encuentra bajo enormes presione para cumplir un contrato del gobierno que incluye seis pedidos en 31 días hábiles. Los pedidos corresponden a partes de repuesto para equipo de mantenimiento de carreteras. De acuerdo con el contrato del gobierno, se le impondrá una multa de $1,000 por cada día que el pedido se retrase. Debido a un incremento de la construcción de carreteras en todo el país, McGee Parts ha recibido muchos pedidos para la reposición de partes de repuesto y su taller de producción está excesivamente atareado. Para cumplir el contrato gubernamental, será necesario quitar las rebabas de las partes y someter a éstas a un tratamiento térmico. El gerente de control de producción ha propuesto el siguiente programa:

	Quitar rebabas		Tratamiento térmico	
Trabajo	Inicio	Fin	Inicio	Fin
1	0	2	2	8
2	2	5	8	13
3	5	12	13	17
4	12	15	17	25
5	15	16	25	30
6	16	24	30	32

- **a.** Aplique la regla de Johnson para determinar la secuencia óptima.
- **b.** Dibuje un gráfico de Gantt para cada operación.

10. Carolyn Roberts es la gerente de operaciones del taller de máquinas de Reliable Manufacturing. Tiene que programar ocho trabajos que se enviarán a ensamblaje final para atender el pedido de un cliente importante. Actualmente, los ocho trabajos

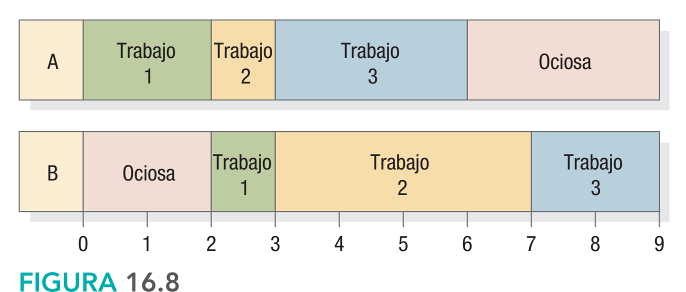


FIGURA 16.8

están en el departamento 12 y deberán ser enviados a continuación al departamento 22. A Jason Mangano, supervisor del departamento 12, le preocupa que el inventario de trabajo en proceso se mantenga en un nivel bajo, y es inflexible en la exigencia de que su departamento procese los trabajos en función del tiempo de procesamiento más corto. Pat Mooney, supervisor del departamento 22, señaló que si Mangano fuera más flexible, sería posible terminar y embarcar más pronto los pedidos. A continuación se presentan los tiempos de procesamiento (en días) de cada trabajo, en cada departamento.

	Trabajo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Departamento 12	2	4	7	5	4	10	8	2
Departamento 22	3	6	3	8	2	6	6	5

a. Determine un programa para las operaciones de cada departamento. Aplique la regla del SPT para el departamento 12 y utilice la misma secuencia para el departamento 22. ¿Cuál es el tiempo promedio de flujo del trabajo en el departamento 12? ¿Cuál es el lapso de fabricación correspondiente a ambos departamentos? ¿Cuál es la suma de los días que pasan los trabajos en el sistema?

b. Encuentre un programa que minimice el lapso de fabricación en ambos departamentos y, a continuación, calcule el tiempo promedio de flujo del trabajo en el departamento 12. ¿Cuál es la suma de los días que pasan los trabajos dentro del sistema?

c. Analice las ventajas y desventajas de estos dos programas. ¿Qué implicaciones tienen para la programación centralizada?

PROBLEMAS AVANZADOS

11. Little 6, Inc., un despacho de contadores, ha pronosticado las siguientes cargas de trabajo semanales para la próxima temporada de preparación de declaraciones de impuestos:

	Día						
	L	M	M	J	V	S	D
Declaraciones de impuestos personales	24	14	18	18	10	28	16
Declaraciones de impuestos de empresas	18	10	12	15	24	12	4

Para preparar la declaración de impuestos de una empresa se requieren 4 horas del tiempo de trabajo de un contador, y para preparar cada declaración de impuestos personal se requieren 90 minutos. Durante la temporada de presentación de las declaraciones de impuestos, cada uno de los contadores puede trabajar hasta 10 horas diarias. Sin embargo, las tasas de error se elevan a niveles inaceptables cuando los contadores trabajan más de cinco días consecutivos por semana.

a. Cree un programa de trabajo eficaz y eficiente.

b. Suponga que Little 6 tiene tres empleados de tiempo parcial disponibles para trabajar tres días a la semana. ¿Cómo podría utilizar eficazmente a esos empleados?

12. Vuelva al problema 1 y al programa de fuerza de trabajo para los trabajadores de tiempo parcial en la plataforma de carga. Suponga que cada uno de los trabajadores de tiempo parcial puede trabajar solamente tres días y que esos días tienen que ser consecutivos. Prepare un método para resolver este problema de programación de la fuerza de trabajo. Su objetivo será minimizar la capacidad de holgura total. ¿Cuál es el número mínimo de empleados que se necesitan ahora y cuáles serían sus respectivos programas de trabajo?

13. El gerente de reparaciones de Standard Components tiene que preparar un programa de prioridades para reparar ocho computadoras personales Dell. Cada trabajo necesitará un análisis, el cual deberá realizarse con el mismo sistema de diagnóstico. Además, cada trabajo requerirá algún procesamiento adicional después de la evaluación de diagnóstico. El gerente no prevé retrasos que requieran una nueva programación, por lo cual los trabajos deberán pasar directamente al siguiente proceso, una vez que el trabajo de diagnóstico haya finalizado. El gerente recopiló los siguientes datos sobre el tiempo de procesamiento y la programación de cada uno de los trabajos de reparación:

Trabajo	Tiempo de trabajo (días)	Fecha de vencimiento (días)	Tiempo restante en el taller (días)	Operaciones restantes
1	1.25	6	2.5	5
2	2.75	5	3.5	7
3	2.50	7	4.0	9
4	3.00	6	4.5	12
5	2.50	5	3.0	8
6	1.75	8	2.5	6
7	2.25	7	3.0	9
8	2.00	5	2.5	3

a. Compare el desempeño relativo de las reglas FCFS, SPT, EDD, S/RO y CR.

b. Analice la selección de alguna de esas reglas para esta compañía. ¿Qué criterios considera más importantes para la selección de una regla en esta situación?

14. Penultimate Support Systems fabrica pedestales de buena calidad para sostener los altavoces y el equipo que utilizan los grupos musicales. El proceso de ensamblaje comprende dos operaciones: (1) la fabricación, o sea, la operación de cortar tramos de tubo de aluminio del largo apropiado, y (2) el ensamblaje, que realizan con sujetadores y partes de plástico moldeado por inyección que compran a sus proveedores. El tiempo de preparación para el ensamblaje es insignificante. A continuación se presenta el tiempo de preparación para la fabricación y el tiempo de ejecución por unidad, el tiempo de ensamblaje por unidad y el programa de producción para la semana siguiente. Organice el trabajo para minimizar el lapso de fabricación y elabore un gráfico de Gantt. ¿Será posible realizar este trabajo en dos turnos de 40 horas?

		Fabricación		Ensambleje
Modelo	Cantidad	Preparación (h)	Tiempo de ejecución (h/unidad)	Tiempo de ejecución (h/unidad)
A	200	2	0.050	0.04
B	300	3	0.070	0.10
C	100	1	0.050	0.12
D	250	2	0.064	0.60

15. Es necesario procesar ocho trabajos en tres máquinas, en la secuencia M1, M2 y M3. Los tiempos de procesamiento (expresados en horas) son los siguientes:

	Trabajo							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Máquina 1	2	5	2	3	1	2	4	2
Máquina 2	4	1	3	5	5	6	2	1
Máquina 3	6	4	5	2	3	2	6	2

La máquina M2 representa un cuello de botella y la gerencia desea maximizar su utilización. En consecuencia, el programa de los ocho trabajos, en su paso por las tres máquinas, se basó en la regla del SPT aplicada a M2. El programa propuesto es: 2, 8, 7, 3, 1, 4, 5 y 6.

- **a.** Son las 4 P.M. del lunes. Suponga que las operaciones de procesamiento en M2 van a comenzar a las 7 A.M. del martes. Use el programa propuesto para determinar los programas de M1 y M3 para que el trabajo 2 empiece a procesarse en M2 a las 7 A.M. del martes. Dibuje gráficos de Gantt de M1, M2 y M3. ¿Cuál es el lapso de fabricación para los ocho trabajos?
- **b.** Encuentre un programa que utilice mejor M2 y se traduzca en un lapso de fabricación más corto.

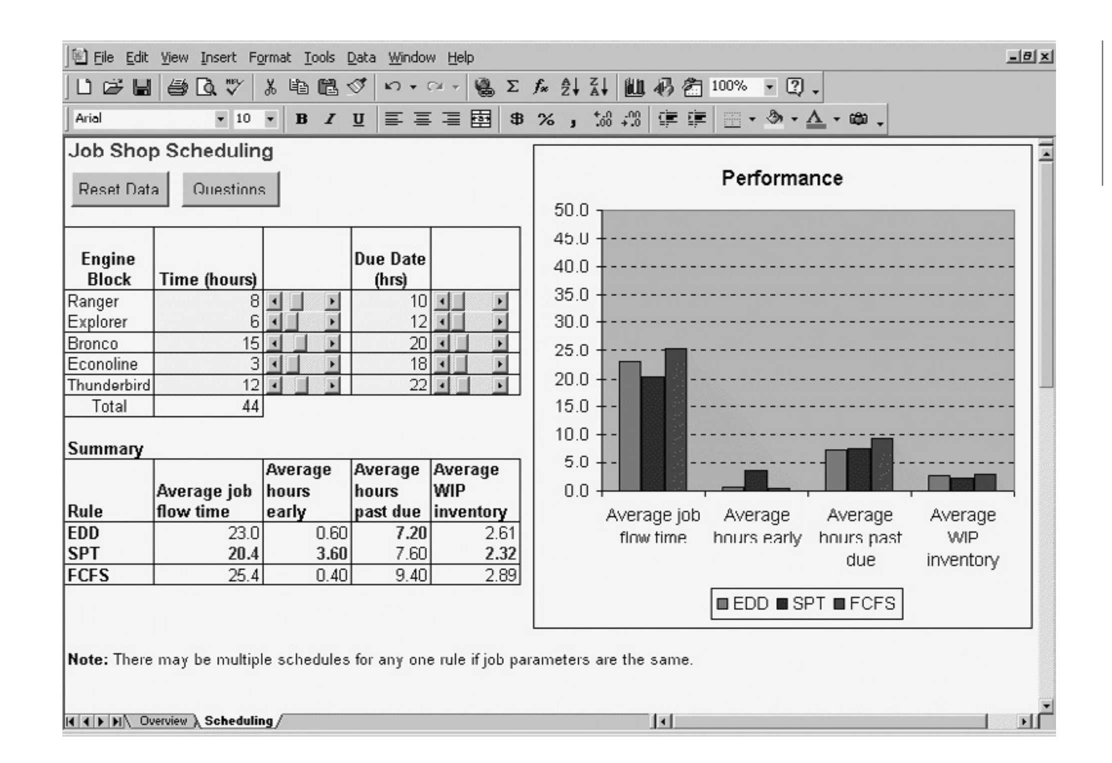
16. Los últimos pasos de un proceso de producción requieren dos operaciones. Algunos trabajos requieren procesamiento en M1 antes de ser procesados en M3. Otros trabajos requieren que el procesamiento en M2 se realice antes que en M3. Actualmente, hay seis trabajos en espera de ser procesados en M1 y cuatro trabajos en espera de ser procesados en M2. Los siguientes datos han sido generados por el sistema de control del taller de producción.

Tiempo de procesamiento (h)				
Trabajo	**M1**	**M2**	**M3**	**Fecha de vencimiento (h a partir de ahora)**
1	6	—	4	13
2	2	—	1	18
3	4	—	7	22
4	5	—	3	16
5	7	—	4	30
6	3	—	1	29
7	—	4	6	42
8	—	2	10	31
9	—	6	9	48
10	—	8	2	40

- **a.** Desarrolle el programa para este taller, aplicando las siguientes reglas: SPT, EDD, S/RO y CR.
- **b.** Analice las implicaciones operativas de cada uno de los programas que haya desarrollado en la parte (a).

> EJERCICIO DE MODELO ACTIVO <

Este modelo activo aparece en el CD-ROM del estudiante. Permite evaluar la aplicación de las reglas de prioridad para una sola dimensión en la programación de trabajos en una estación.



MODELO ACTIVO 16.1

Programación de una planta de producción intermitente, usando datos tomados del ejemplo 16.2

PREGUNTAS

1. ¿Qué regla minimiza el tiempo promedio de flujo del trabajo y el inventario promedio de WIP en el sistema en este ejemplo?
2. Use las barras de desplazamiento para cambiar los cinco tiempos de procesamiento y las cinco fechas de vencimiento. ¿La misma regla minimiza siempre el tiempo promedio de flujo y el promedio de WIP?
3. ¿Qué regla minimiza el promedio de horas de retraso en este ejemplo?
4. Use la barra de desplazamiento para cambiar el tiempo de procesamiento y la fecha de vencimiento del Thunderbird. ¿La misma regla siempre minimiza el promedio de horas de retraso?
5. ¿Qué regla minimiza el promedio de horas de adelanto en este ejemplo?
6. Use la barra de desplazamiento para cambiar el tiempo de procesamiento y la fecha de vencimiento del Econoline. ¿La misma regla siempre minimiza el promedio de horas de retraso?

CASO

Food King

Con sede en Charlotte, Carolina del Norte, la cadena de supermercados Food King se extiende desde las Virginias hasta Florida, descendiendo por la costa atlántica de Estados Unidos. Igual que en el resto del país, la industria de los supermercados en el sureste de EE.UU. es muy competitiva, con márgenes de utilidad que, en promedio, representan cerca del 2% de los ingresos. Históricamente, la prioridad competitiva fundamental de todas las cadenas de tiendas de comestibles han sido los precios bajos. Con márgenes de utilidad tan pequeños, las tiendas siempre trataban de encontrar la forma de reducir sus costos y utilizar los recursos con la mayor eficiencia. Varias cadenas de supermercados centran todavía su atención en los precios bajos como su principal prioridad competitiva.

Sin embargo, Food King decidió recientemente enfocar su posicionamiento competitivo en el fortalecimiento de la experiencia de compra del consumidor. El mercado objetivo de Food King es el comprador de alimentos selectos, de primera calidad, cuyas prioridades de compra son las siguientes:

1. **Limpieza.** La instalación está limpia y ordenada, y los artículos están bien marcados y son fáciles de localizar.
2. **Disponibilidad.** La variedad de artículos es amplia y el cliente tiene varias opciones para escoger de cada artículo.
3. **Servicio puntual.** La tienda está abierta en un horario cómodo y los clientes no tienen que esperar en largas filas frente a las cajas registradoras.
4. **Precios razonables.** Aunque los clientes están dispuestos a pagar un poco más por la limpieza, disponibilidad y buen servicio, los precios tienen que seguir siendo competitivos.

Marty Moyer era gerente de tienda del supermercado Food King en Rock Hill, Carolina del Sur, desde hace tres años. Fue ascendiendo en su carrera, desde almacenista hasta gerente de esta instalación de dimensiones medianas. A causa de su éxito en la administración de la tienda de Rock Hill, Moyer fue promovido al puesto de gerente de la gran tienda insignia de Food King en Columbia. Esta instalación acababa de instituir un horario de servicio las 24 horas del día y los 7 días de la semana, en respuesta a las presiones de la competencia.

Al cabo de un mes de dirigir la tienda de Columbia, Moyer se ha familiarizado con las características del mercado local y con las operaciones y el personal de la tienda. Su principal reto para el futuro consiste en colocar la tienda a la altura de las nuevas prioridades competitivas establecidas para toda la cadena. Él ha identificado como un área de especial interés la programación de los almacenistas y empacadores. Las prioridades de limpieza, disponibilidad y servicio puntual son otras tantas presiones para que Moyer tenga el número apropiado de almacenistas y empacadores disponibles. Para conservar un alto nivel de limpieza, se requiere más personal que mantenga ordenada la mercancía en los anaqueles y para que los pasillos estén despejados y bien barridos. La prioridad de disponibilidad requiere un reabastecimiento más frecuente de los anaqueles, porque la mayor variedad de artículos implica la asignación de menos espacio para cada una de las marcas o artículos específicos. Por último, la necesidad de ofrecer un servicio rápido requiere que haya empleados disponibles para ayudar a los cajeros a atender al público con prontitud, especialmente en los periodos pico de actividad, cuando podrían formarse largas filas de espera si los cajeros tuvieran que registrar la venta en la caja y empacar personalmente la mercancía.

Moyer sabe que no podrá resolver los problemas de limpieza, disponibilidad y servicio puntual con sólo agregar almacenistas y empacadores a la nómina de personal. Para obtener utilidades en una industria con márgenes bajos, deberá controlar los costos para que los precios sigan siendo competitivos. La clave consiste en elaborar un programa de trabajo para el personal de almacenistas y empacadores que satisfaga los requisitos competitivos, se ajuste a un conjunto razonable de políticas de trabajo y emplee eficientemente al personal, a fin de minimizar los costos de mano de obra.

Para abordar este problema, Moyer ha recopilado primero información sobre las políticas y procedimientos actuales de programación, junto con el pronóstico del nivel de demanda de personal. Las plazas de almacenistas y empacadores pueden ocuparse con empleados ya sea de tiempo completo o parcial. Los empleados de tiempo completo trabajan ocho horas diarias, cinco días a la semana, con dos días de descanso consecutivos cada semana. Normalmente, los turnos de ocho horas se programan como bloques de tiempo consecutivos de ocho horas; sin embargo, Moyer tiene la posibilidad de programar a un empleado para que trabaje dos bloques de tiempo de cuatro horas (con otras cuatro horas libres entre ellos) en el curso de un día determinado, si tiene un almacenista y un empacador para el periodo de cuatro horas comprendido entre los bloques de tiempo programados.

Todos los empleados de tiempo parcial son programados en bloques de tiempo de cuatro horas, hasta por un total de 20 horas por semana. Food King limita el número de empleados de tiempo parcial al 50% del número total de empleados de tiempo completo en cada categoría de trabajadores. La mayor parte de los empleados de tiempo parcial realizan funciones de empacadores porque, en general, son personas jubiladas y les sería difícil levantar objetos pesados, como hacen los almacenistas para abastecer los anaqueles. Food King es afecto a contratar jubilados porque son responsables, dignos de confianza y están más dispuestos a trabajar los fines de semana que los adolescentes. Los empleados de tiempo completo ganan $5.25 por hora; los de tiempo parcial ganan sólo $4.50 por hora.

Para efectos de programación, cada día se divide en seis bloques de cuatro horas, comenzando con el de las 8:00 de la mañana a las 12:00 del mediodía. La demanda de empleados almacenistas y empacadores varía considerablemente durante un periodo de 24 horas. Moyer elaboró un pronóstico de las necesidades de personal, en bloques de tiempo de cuatro horas, analizando datos sobre la actividad de los clientes y los programas de entrega de los proveedores. La siguiente tabla presenta las estimaciones que ha elaborado acerca del número total de almacenistas y empacadores que se requiere para cada bloque de tiempo de cuatro horas, a partir de las horas allí indicadas:

	Día						
Hora	**L**	**M**	**M**	**J**	**V**	**S**	**D**
8:00 A.M.	6	8	5	5	8	15	4
12:00 P.M.	6	8	5	5	10	15	6
4:00 P.M.	5	6	5	5	15	15	6
8:00 P.M.	4	4	4	4	8	6	4
12:00 A.M.	4	4	4	4	5	4	4
4:00 A.M.	8	4	4	8	5	4	4

Los requisitos máximos se presentan durante los periodos de muchas ventas, los viernes y sábados. Se requiere más personal de almacenistas los lunes y jueves por la tarde porque muchos proveedores entregan sus mercancías en esos días.

Moyer desea determinar el número necesario de personal de almacenistas y empacadores, la mezcla apropiada de empleados de tiempo completo y parcial, y el programa de trabajo más conveniente para cada empleado. La ampliación del horario a 24 horas diarias ha complicado, sin duda, la tarea de programación. Él sabe que los empleados jóvenes, de tiempo completo, serían probablemente los más adecuados para llenar los bloques de tiempo correspondientes a las altas horas de la noche y las primeras de la mañana. Sin embargo, a los empleados jóvenes no les agrada trabajar a esas horas. De alguna manera, el programa tendrá que ser justo para todos.

PREGUNTAS

1. Traduzca las cuatro prioridades de la clientela en un conjunto de prioridades competitivas para las operaciones de la tienda Food King en Columbia.
2. Prepare un programa de almacenistas y empacadores de tiempo completo y parcial para Marty Moyer. Explique la estrategia que aplicó y el equilibrio entre ventajas y desventajas que haya tenido que establecer para satisfacer las prioridades competitivas de la tienda de Columbia.
3. ¿Qué medidas adoptaría usted para garantizar que el programa sea justo para todos los empleados?

Fuente: Este caso fue preparado por el doctor Brooke Saladin, Wake Forest University, como base para la discusión en el aula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baker, K. R., *Elements of Sequencing and Scheduling,* Hanover, NH, Baker Press, 2002.

Browne, J. J., "Simplified Scheduling of Routine Work Hours and Days Off", *Industrial Engineering,* diciembre de 1979, pp. 27–29.

Browne, J. J. y J. Prop, "Supplement to Scheduling Routine Work Hours", *Industrial Engineering,* julio de 1989, p. 12.

Dillon, Jeffrey E. y Spyros Kontogiorgis, "US Airways Optimizes the Scheduling of Reserve Flight Crews", *Interfaces,* septiembre-octubre de 1999, pp. 123–131.

Hartvigsen, David, *SimQuick: Process Simulation with Excel,* 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2004.

Johnson, S. M., "Optimal Two Stage and Three Stage Production Schedules with Setup Times Included", *Naval Logistics Quarterly,* volumen 1, número 1, 1954, pp. 61–68.

Kiran, Ali S. y Thomas H. Willingham, "Simulation: Help for Your Scheduling Problems", *APICS—The Performance Advantage,* agosto de 1992, pp. 26–28.

LaForge, R. Lawrence y Christopher W. Craighead, "Computer-Based Scheduling in Manufacturing Firms: Some Indicators of Successful Practice", *Production and Inventory Management Journal,* primer trimestre de 2000, pp. 29–34.

Lesaint, David, Christos Voudouris y Nader Azarmi, "Dynamic Workforce Scheduling for British Telecommunications plc", *Interfaces,* enero-febrero de 2000, pp. 45–56.

Metters, Richard y Vincente Vargas, "A Comparison of Production Scheduling Policies on Costs, Service Levels, and Schedule Changes", *Production and Operations Management,* volumen 17, número 3, 1999, pp. 76–91.

Pinedo, Michael, *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems,* 2a. edición, Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2002.

Pinedo, M. y X. Chao, *Operations Scheduling with Applications in Manufacturing and Services,* Boston: McGraw-Hill/Irwin, 1998.

Port, Otis, "Customers Move into the Driver's Seat", *Business Week,* 4 de octubre de 1999, pp. 103–106.

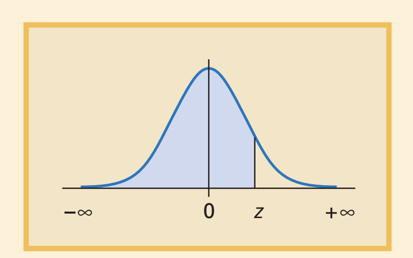
Ramani, K. V., "Scheduling Doctors' Activities at a Large Teaching Hospital", *Production and Inventory Management Journal,* primero/segundo trimestre de 2002, pp. 56–62.

Suresh, V. y D. Chaudhuri, "Dynamic Scheduling—A Survey of Research", *International Journal of Production Economics,* volumen 32, 1993, pp. 52–63.

Tibrewala, R. K., D. Philippe y J. J. Browne, "Optimal Scheduling of Two Consecutive Idle Periods", *Management Science,* volumen 19, número 1, 1972, pp. 71–75.

Vollmann, Thomas E., William Berry, D. Clay Whybark y Robert Jacobs, *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management,* 5a. edición, Nueva York, McGraw-Hill/Irwin, 2005.

APÉNDICE 1 Distribución normal



	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

APÉNDICE 2 Tabla de números aleatorios

71509	68310	48213	99928	64650	13229	36921	58732	13459	93487
21949	30920	23287	89514	58502	46185	00368	82613	02668	37444
50639	54968	11409	36148	82090	87298	41396	71111	00076	60029
47837	76716	09653	54466	87987	82362	17933	52793	17641	19502
31735	36901	92295	19293	57582	86043	69502	12601	00535	82697
04174	32342	66532	07875	54445	08795	63563	42295	74646	73120
96980	68728	21154	56181	71843	66134	52396	89723	96435	17871
21823	04027	76402	04655	87276	32593	17097	06913	05136	05115
25922	07122	31485	52166	07645	85122	20945	06369	70254	22806
32530	98882	19105	01769	20276	59401	60426	03316	41438	22012
00159	08461	51810	14650	45119	97920	08063	70819	01832	53295
66574	21384	75357	55888	83429	96916	73977	87883	13249	28870
00995	28829	15048	49573	65277	61493	44031	88719	73057	66010
55114	79226	27929	23392	06432	50200	39054	15528	53483	33972
10614	25190	52647	62580	51183	31338	60008	66595	64357	14985
31359	77469	58126	59192	23371	25190	37841	44386	92420	42965
09736	51873	94595	61367	82091	63835	86858	10677	58209	59820
24709	23224	45788	21426	63353	29874	51058	29958	61220	61199
79957	67598	74102	49824	39305	15069	56327	26905	34453	53964
66616	22137	72805	64420	58711	68435	60301	28620	91919	96080
01413	27281	19397	36231	05010	42003	99865	20924	76151	54089
88238	80731	20777	45725	41480	48277	45704	96457	13918	52375
57457	87883	64273	26236	61095	01309	48632	00431	63730	18917
21614	06412	71007	20255	39890	75336	89451	88091	61011	38072
26466	03735	39891	26361	86816	48193	33492	70484	77322	01016
97314	03944	04509	46143	88908	55261	73433	62538	63187	57352
91207	33555	75942	41668	64650	38741	86189	38197	99112	59694
46791	78974	01999	78891	16177	95746	78076	75001	51309	18791
34161	32258	05345	79267	75607	29916	37005	09213	10991	50451
02376	40372	45077	73705	56076	01853	83512	81567	55951	27156
33994	56809	58377	45976	01581	78389	18268	90057	93382	28494
92588	92024	15048	87841	38008	80689	73098	39201	10907	88092
73767	61534	66197	47147	22994	38197	60844	86962	27595	49907
51517	39870	94094	77092	94595	37904	27553	02229	44993	10468
33910	05156	60844	89012	21154	68937	96477	05867	95809	72827
09444	93069	61764	99301	55826	78849	26131	28201	91417	98172
96896	43769	72890	78682	78243	24061	55449	53587	77574	51580
97523	54633	99656	08503	52563	12099	52479	74374	79581	57143
42568	30794	32613	21802	73809	60237	70087	36650	54487	43718
45453	33136	90246	61953	17724	42421	87611	95369	42108	95369
52814	26445	73516	24897	90622	35018	70087	60112	09025	05324
87318	33345	14546	15445	81588	75461	12246	47858	08983	18205
08063	83575	26294	93027	09988	04487	88364	31087	22200	91019
53400	82078	52103	25650	75315	18916	06809	88217	12245	33053
90789	60614	20862	34475	11744	24437	55198	55219	74730	59820
73684	25859	86858	48946	30941	79017	53776	72534	83638	44680
82007	12183	89326	53713	77782	50368	01748	39033	47042	65758
80208	30920	97774	41417	79038	60531	32990	57770	53441	58732
62434	96122	63019	58439	89702	38657	60049	88761	22785	66093
04718	83199	65863	58857	49886	70275	27511	99426	53985	84077

CRÉDITOS DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO 1: p. 2: Wikimedia Commons; p. 6: Abblestock; p. 11: Abblestock; p. 14: Wikimedia Commons; p. 16: Abblestock; p. 19: Abblestock.

CAPÍTULO 2: p. 44: Wikimedia Commons; p. 52: Wikimedia Commons; p. 54: John Whalen/Wikimedia Commons; p. 55: Abblestock; p. 61: mylerdude/Wikimedia Commons.

CAPÍTULO 3: p. 68: © Bechtel Corporation; p. 74: Cortesía de Baxter International, Inc.; p. 85: Cortesía de Starwood Hotels; p. 92: Anthony Citrano/Wikimedia Commons.

CAPÍTULO 4: p. 118: AP Wide World Photos; p. 124: Abblestock; p. 127: Abblestock; p. 128: Terence Ongk/Wikimedia Commons; p. 133: Abblestock; p. 135: ABB, Inc.; p. 137: Abblestock.

CAPÍTULO 5: p. 150: Abblestock; p. 156: Wikimedia Commons; p. 157: Abblestock; p. 170: Abblestock.

CAPÍTULO 6: p. 204: Crowne Plaza Christchurch Hotel; p. 209: Abblestock (fotomontaje); p. 214: Archer Daniels Midland Company; p. 215: Abblestock; p. 218: Abblestock; p. 232: Abblestock; p. 235: Starwood Hotels & Resorts Worldwide, Inc.

CAPÍTULO 7: p. 252: Bob Nicholson/Eastern Financial Florida Credit Union; p. 258: Bal Seal Engineering; p. 262: Staff Sgt. Tony R. Tolley/U.S. Air Force; p. 266: Wikimedia Commons.

SUPPLEMENT C: p. 295: Wikimedia Commons; p. 302: Abblestock.

CAPÍTULO 8: p. 310: Scott McDonald/Hedrich Blessing; p. 314: © Color Kinetics Incorporated/Scott Goodwin Photography; p. 316: Abblestock; p. 317: Abblestock; p. 325 (izquierda): Pearson Education/PH College; p. 325 (derecha): Pearson Education/PH College; p. 327: Abblestock.

CAPÍTULO 9: p. 346: Wikimedia Commons; p. 350: Abblestock; p. 354 (arriba): AP Wide World Photos; p. 354 (centro): Wikimedia Commons; p. 355: AP Wide World Photos; p. 359: Abblestock; p. 363: Cessna Aircraft Company.

CAPÍTULO 10: p. 370: Wikimedia Commons ; p. 375: Wikimedia Commons; p. 380: Wikimedia Commons; p. 388: Wikimedia Commons; p. 394: Wikimedia Commons; p. 398: Pierre Andrieu/Agence France Presse/Getty Images; p. 405: Wikimedia Commons.

CAPÍTULO 11: p. 418: Wikimedia Commons; p. 421: Wikimedia Commons; p. 423: Wikimedia Commons; p. 425: Wikimedia Commons.

CAPÍTULO 12: p. 460: Wal-Mart; p. 465: Wikimedia Commons; p. 467: Wikimedia Commons.

CAPÍTULO 13: p. 520: Wikimedia Commons; p. 527: Wikimedia Commons.

CAPÍTULO 14: p. 566: Michael Springer/Bloomberg News/Landov LLC; p. 575: Abblestock; p. 576: Abblestock; p. 579: Abblestock; p. 581: AP Wide World Photos.

CAPÍTULO 15: p. 622: Wikimedia Commons; p. 627: Wikimedia Commons; p. 648: Cpl. Nicholas Tremblay/United States Marine Corps; p. 649: Abblestock.

CAPÍTULO 16: p. 670: Wikimedia Commons; p. 676: Wikimedia Commons; p. 691: Wikimedia Commons.

ÍNDICE DE NOMBRES

Las referencias de página que contienen letras (F.1, G.1, etcétera) indican materiales que se encuentran en los suplementos contenidos en el CD-ROM que se incluye con este texto.

ÍNDICE DE NOMBRES

ÍNDICE DE NOMBRES

ÍNDICE DE NOMBRES

ÍNDICE DE NOMBRES

ÍNDICE TEMÁTICO

Las referencias de página que contienen letras (F.1, G.1, etcétera) hacen referencia a materiales que se encuentran en los suplementos contenidos en el CD-ROM que acompaña a este texto. Los números de página seguidos por una f incluyen figuras. Los números de página seguidos por una t contienen tablas.

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE TEMÁTICO

CONTRATO DE LICENCIA DE SITIO Y GARANTÍA LIMITADA

LEA DETENIDAMENTE ESTE CONTRATO DE LICENCIA ANTES DE USAR ESTE PAQUETE. SI DECIDE USARLO, HABRÁ ACEPTADO LOS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE ESTA LICENCIA. SI NO LOS ACEPTA, NO USE EL PAQUETE, DEVUÉLVALO DE INMEDIATO SIN USAR Y TODOS LOS ELEMENTOS ADJUNTOS AL LUGAR DONDE LOS ADQUIRIÓ. ***ESTOS TÉRMINOS APLICAN A TODO EL SOFTWARE CON LICENCIA CONTENIDO EN EL CD, SALVO QUE LOS TÉRMINOS DE USO DE LOS PROGRAMAS DE EVALUACIÓN O GRATUITOS QUE VIENEN EN EL CD SE ESTIPULAN EN LA LICENCIA ELECTRÓNICA LOCALIZADA EN EL DISCO:***

1. **OTORGAMIENTO DE LICENCIA y PROPIEDAD:** Los programas de cómputo y datos adjuntos (“Software”) se otorgan bajo licencia, no se venden. Pearson Educación (“nosotros” o la “Compañía”) le otorga esta licencia por su compra o adopción de los libros de texto u otros materiales adjuntos de la Compañía y su aceptación de estos términos. Nos reservamos todos los derechos que no se le conceden expresamente. Usted es dueño del o los CD, pero nosotros o los concedentes de la licencia somos propietarios del software. Esta licencia le permite instalar, usar y mostrar en pantalla la copia adjunta del software en computadoras individuales del laboratorio de computación designado para uso de los estudiantes de un curso que requiere el libro de texto que lo acompaña de la Compañía y sólo durante el tiempo en que dicho libro de texto sea obligatorio para tomar el curso, en un solo campus, sucursal o ubicación geográfica de una institución educativa, exclusivamente para uso académico, siempre y cuando usted cumpla con los términos de este contrato.
2. **RESTRICCIONES:** No puede transferir ni distribuir el software o documentación a nadie más. Excepto por una copia de seguridad, no puede copiar la documentación ni el software. No puede utilizar técnicas de ingeniería inversa, desensamblar, descompilar, modificar, adaptar, traducir o crear obras derivadas basadas en el software o la documentación. Se le considerará legalmente responsable por cualquier copia o contravención de los derechos de propiedad intelectual (copyright) que ocasione su incumplimiento de los términos de estas restricciones.
3. **TERMINACIÓN:** Esta licencia será válida hasta que se dé por terminada. Esta licencia terminará automáticamente y sin previo aviso de la Compañía si usted incumple cualquiera de las disposiciones o limitaciones de esta licencia. Al terminar la licencia, debe destruir la documentación y todas las copias del software. Todas las disposiciones de este contrato relativas a la limitación y rechazo de garantías, limitación de responsabilidad, recursos de reparación o daños y nuestros derechos de propiedad seguirán vigentes después de la terminación.
4. **GARANTÍA LIMITADA Y RECHAZO DE GARANTÍAS:** La Compañía garantiza que durante un periodo de 60 días a partir de la fecha de compra de este software (o la compra o adopción del libro de texto adjunto), el software, si se instala correctamente y se usa de acuerdo con lo que se indica en la documentación, funcionará de manera sustancialmente apegada a la descripción del software que se presenta en la documentación, y que durante un periodo de 30 días, el o los discos en los que se entrega el software estarán exentos de defectos en materiales y mano de obra en condiciones de uso normal. La Compañía no garantiza que el software satisfará sus necesidades ni que el funcionamiento del software será ininterrumpido o estará libre de errores. El único recurso de reparación al que usted tendrá derecho y la única obligación de la Compañía según estas garantías limitadas es, a criterio de la Compañía, la devolución del disco para obtener un reembolso de la suma que usted haya pagado por adquirirlo o la sustitución del disco. ESTA GARANTÍA LIMITADA ES LA ÚNICA QUE OFRECE LA COMPAÑÍA Y SUS CONCEDENTES DE LICENCIAS. LA COMPAÑÍA Y SUS CONCEDENTES DE LICENCIAS RECHAZAN TODAS LAS DEMÁS GARANTÍAS, YA SEA EXPLÍCITAS O IMPLÍCITAS, INCLUIDAS A TÍTULO ENUNCIATIVO, PERO NO LIMITATIVO, LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE APTITUD E IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. LA COMPAÑÍA NO CERTIFICA, GARANTIZA NI HACE NINGUNA DECLARACIÓN DE HECHOS EN RELACIÓN CON LA PRECISIÓN, FIABILIDAD, ACTUALIDAD, USO O RESULTADOS DEL USO DEL SOFTWARE.
5. **LIMITACIÓN DE RECURSOS DE REPARACIÓN Y DAÑOS:** EN NINGÚN CASO NI LA COMPAÑÍA NI SUS EMPLEADOS, AGENTES, CONCEDENTES DE LICENCIAS O CONTRATISTAS SERÁN RESPONSABLES POR DAÑOS INCIDENTALES, INDIRECTOS, ESPECIALES O EMERGENTES, SEAN CUALES FUEREN, QUE SURJAN DE O SE RELACIONEN CON ESTA LICENCIA O EL SOFTWARE, INCLUIDA LA PÉRDIDA DE USO, PÉRDIDA DE DATOS, PÉRDIDA DE INGRESOS O BENEFICIOS U OTRAS PÉRDIDAS SUFRIDAS COMO RESULTADO DE LESIONES A ALGUNA PERSONA, O PÉRDIDAS O DAÑOS MATERIALES, O RECLAMACIONES DE TERCEROS, INCLUSO SI LA COMPAÑÍA O UN REPRESENTANTE AUTORIZADO DE LA COMPAÑÍA HUBIEREN SIDO ADVERTIDOS DE LA POSIBILIDAD DE TALES DAÑOS. EN NINGÚN CASO LA RESPONSABILIDAD DE LA COMPAÑÍA POR DAÑOS CON RESPECTO AL SOFTWARE SERÁ SUPERIOR A LA CANTIDAD QUE USTED HAYA PAGADO EFECTIVAMENTE, EN SU CASO, POR EL SOFTWARE O EL LIBRO DE TEXTO ACOMPAÑANTE. EN ALGUNAS JURISDICCIONES NO SE PERMITE LA LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD EN CIERTAS CIRCUNSTANCIAS, POR LO QUE ES POSIBLE QUE LA ANTERIOR LIMITACIÓN NO SIEMPRE SEA APLICABLE.
6. **GENERAL:** ESTE CONTRATO SE INTERPRETARÁ DE ACUERDO CON LO PREVISTO EN LAS LEYES DE ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y EL ESTADO DE NUEVA YORK, APLICABLES A LOS CONTRATOS CELEBRADOS EN NUEVA YORK, Y BENEFICIARÁ A LA COMPAÑÍA Y A SUS FILIALES Y CESIONARIOS. Este contrato es la declaración completa y exclusiva del acuerdo entre usted y la Compañía y sustituye a todas las propuestas, acuerdos previos, ya sea verbales o por escrito, y cualquier otra comunicación entre usted y la Compañía o cualquiera de sus representantes en relación con el objeto de este contrato. Este software se otorga bajo licencia con “derechos restringidos”, como se estipula en los subpárrafos (a)-(d) de la cláusula Derechos restringidos de software informático comercial, en FAR 52.227-19, o en los subpárrafos (c)(1)(ii) de la cláusula Derechos sobre datos técnicos y software informático, en DFARS 252.227-7013, y otras cláusulas similares, según sea aplicable.

Si tiene alguna duda o pregunta sobre este contrato o desea comunicarse con la Compañía por cualquier motivo, póngase en contacto por escrito con:

Director, Media Production
Pearson Education
1 Lake Street
Upper Saddle River, NJ 07458